

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до лабораторних робіт  
з дисципліни «Термодинаміка теплових двигунів»  
(Частина 1)

для студентів спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування»

Харків 2019



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до лабораторних робіт  
з дисципліни «Термодинаміка теплових двигунів»  
(Частина 1)

для студентів спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування»

Затверджено  
редакційно-видавничою  
радою університету,  
протокол №2 від 17.05.2019 р.

Харків  
НТУ «ХПІ»  
2019

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Термодинаміка теплових двигунів» (Частина 1) для студентів спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування». / уклад.: Лінков О.Ю., Кравченко С.С. – Харків: НТУ «ХПІ», 2019. – 52 с.

Укладачі: О.Ю. Лінков,  
С.С. Кравченко

Рецензент О.О. Осетров

Кафедра двигунів внутрішнього згоряння

## ВСТУП

Дисципліна «Термодинаміка теплових двигунів» є базовою для студентів спеціальності ДВЗ. Вона закріплює та доповнює відомості з термодинаміки і показує, як застосовуються на практиці теоретичні знання.

Необхідність у глибоких знаннях з дисципліни, у практичному використанні цих знань при вивченні базових дисциплін в системі підготовки фахівців-двигунобудівників обумовлює необхідність у проведенні за основними розділами дисципліни лабораторних занять, модульного контролю знань за цими розділами.

Вивчення дисципліни має на меті засвоєння студентами теоретичної бази, необхідної для наступного вивчення дисциплін «Теорія робочих процесів у ДВЗ», «Газова динаміка та агрегати наддуву», практичне використання теоретичних положень дисципліни для аналітичного аналізу та представлення реальних процесів у надпоршневому об'ємі ДВЗ, в агрегатах наддуву ДВЗ.

Методичні вказівки містять лабораторні роботи з вимірювання тиску та вимірювання температури. Названі параметри є параметрами стану речовини, що обов'язково повинні враховуватись при дослідженні процесів у теплових двигунах. Їх розуміння та набуття навичок їх вимірювання є обов'язковим для інженера у галузі енергетики.

# Лабораторна робота 1

## Вимірювання тиску, перевірка пружинного манометра

*Мета роботи* – вивчити принцип дії і конструкцію приладів для вимірювання тиску, провести тарування пружинного манометра по поршневому (перевірці робочого манометра по зразковому).

### 1. Основні поняття

Одним з параметрів, що відображають стан термодинамічної системи, є тиск. *Тиск* – сила, що нормально діє на одиницю площі поверхні.

Важливим при вирішенні практичних завдань є вибір системи відліку тиску (шкали тиску). За початок шкали може бути прийнятий абсолютний нуль тиску (аналог абсолютного нуля температури) –  $0_{\text{абс}}$ . При відліку тиску від цього нуля його називають абсолютним.

Однак, як доводить практика, технічні завдання зручніше вирішувати, використовуючи надлишковий тиск  $P_{\text{надл}}$ , тобто коли за початок шкали приймається атмосферний тиск –  $0_{\text{атм}}$ .

Тиск, який відраховується «вниз» від атмосферного нуля, називається тиском вакууму  $P_{\text{вак}}$  (розрідження), або вакуумом.

Таким чином, існують три шкали для відліку тиску, тобто тиск може бути абсолютним, надмірним або вакуумним. Отримаємо формули для перерахунку одного тиску в інший. Для отримання формули перерахунку надлишкового тиску в абсолютний  $P_{\text{абс}}$  скористаємося рис. 1, б.

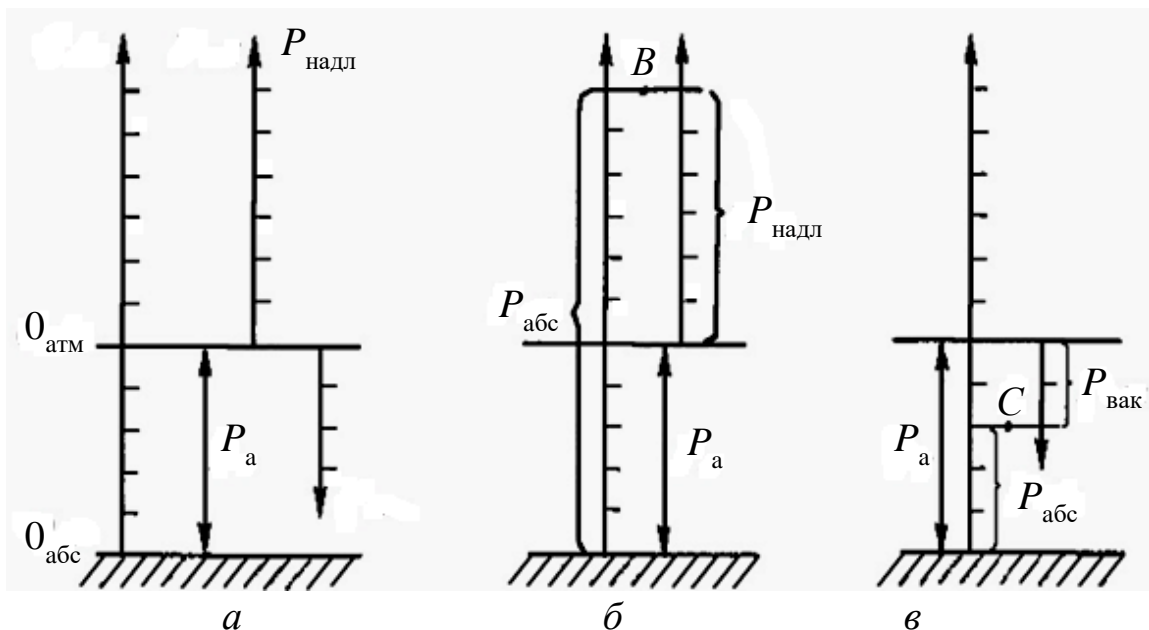


Рисунок 1 – Схема для перерахунку тиску

Нехай значення шуканого тиску визначається положенням точки В. Тоді очевидно, що

$$P_{\text{абс}} = P_{\text{а}} + P_{\text{надл}},$$

де  $P_{\text{а}}$  – атмосферний тиск, що вимірюється барометром.

Зв'язок між абсолютним тиском  $P_{\text{абс}}$  і тиском вакууму  $P_{\text{вак}}$  можна встановити аналогічним шляхом, але вже виходячи з положення точки С:

$$P_{\text{абс}} = P_{\text{а}} - P_{\text{вак}}$$

Надлишковий тиск і вакуум відраховуються від одного нуля ( $0_{\text{атм}}$ ), але в різні боки. Отже,

$$P_{\text{надл}} = -P_{\text{вак}}$$

При розв'язанні прикладних задач найчастіше використовується надлишковий тиск, тому вимірюванню цього тиску необхідно приділити найбільшу увагу.

Основною одиницею виміру тиску є Паскаль – сила в 1 Н, нормально діюча на площу поверхні, що дорівнює 1 м<sup>2</sup>.

У табл. 1 наведені співвідношення між різними одиницями вимірювання тиску.

Таблиця 1 – Співвідношення одиниць вимірювання тиску

№ з/п	Одиниці вимірювання	Па	кгс/см <sup>2</sup> , (ат)	кгс/м <sup>2</sup> , (мм вод. ст)	мм рт. ст	бар
1	1 Па	1	$1,02 \cdot 10^{-5}$	0,102	$7,5 \cdot 10^{-3}$	$10^{-5}$
2	1 кгс/см <sup>2</sup> = 1 ат	$9,8 \cdot 10^4$	1	10000	735	0,98
3	1 мм вод. ст = 1 кгс/м <sup>2</sup>	9,8	$10^{-4}$	1	$7,35 \cdot 10^{-2}$	$9,8 \cdot 10^{-5}$
4	1 мм рт. ст	133	$1,3 \cdot 10^{-3}$	13,6	1	$1,3 \cdot 10^{-3}$
5	1 бар	$10^5$	1,02	10200	$7,5 \cdot 10^2$	1

## 2. Прилади для вимірювання тиску

Прилади для вимірювання тиску класифікують за різними ознаками. За характером вимірюваного тиску прилади поділяють на такі класи:

- 1) барометри – прилади для вимірювання атмосферного тиску;
- 2) манометри – прилади для вимірювання надлишкового тиску;
- 3) вакуумметри – прилади для вимірювання вакууму;
- 4) мікроманометри та мікровакуумметри – прилади для вимірювання невеликого надлишкового тиску та невеликого розрідження;
- 5) диференціальні манометри – прилади для вимірювання різниці тиску.

За принципом роботи прилади вимірювання тиску поділяють на такі типи:

- а) рідинні – вимірювання тиску здійснюється за висотою стовпа рідини (ртуті, води, спирту та ін.);
- б) пружинні – вимірювання тиску здійснюється за величиною деформації пружного елемента;
- в) поршневі – в яких тиск вимірюється за врівноважальною силою, що діє на поршень;
- г) електричні – перетворюють тиск в електричний сигнал, значення якого залежить від величини тиску.

Такі прилади характеризуються ціною поділки, абсолютною похибкою і класом точності.

*Ціна поділки* – різниця значень величин, що відповідають двом сусіднім позначкам шкали приладу.

*Абсолютна похибка* – різниця між показаннями приладу і дійсним значенням вимірюваної величини.

*Клас точності* – узагальнена характеристика, що визначається найбільшою допустимою похибкою  $\Delta$  вимірювання у відсотках від кінцевого значення  $n$  шкали приладів.

### 2.1. Рідинні прилади

Рідинні прилади використовують для вимірювання барометричного тиску, надлишкового тиску до  $2 \cdot 10^5$  Па і розрідження до  $0,98 \cdot 10^5$  Па. Пристрій і основні типи рідинних приладів для вимірювання тиску показано на рис. 2.

Рідинні ртутні барометри використовуються для визначення атмосферного тиску ( $P_{\text{бар}}$ ). У посудину з ртуттю  $I$  занурена відкритим



кінцем попередньо заповнена ртуттю скляна трубка 2 з запаяним другим кінцем (рис. 2, *a*). Шкала 3 приладу рухлива для того, щоб при відліку показань нижній кінець шкали суміщати з поверхнею ртуті в посудині.

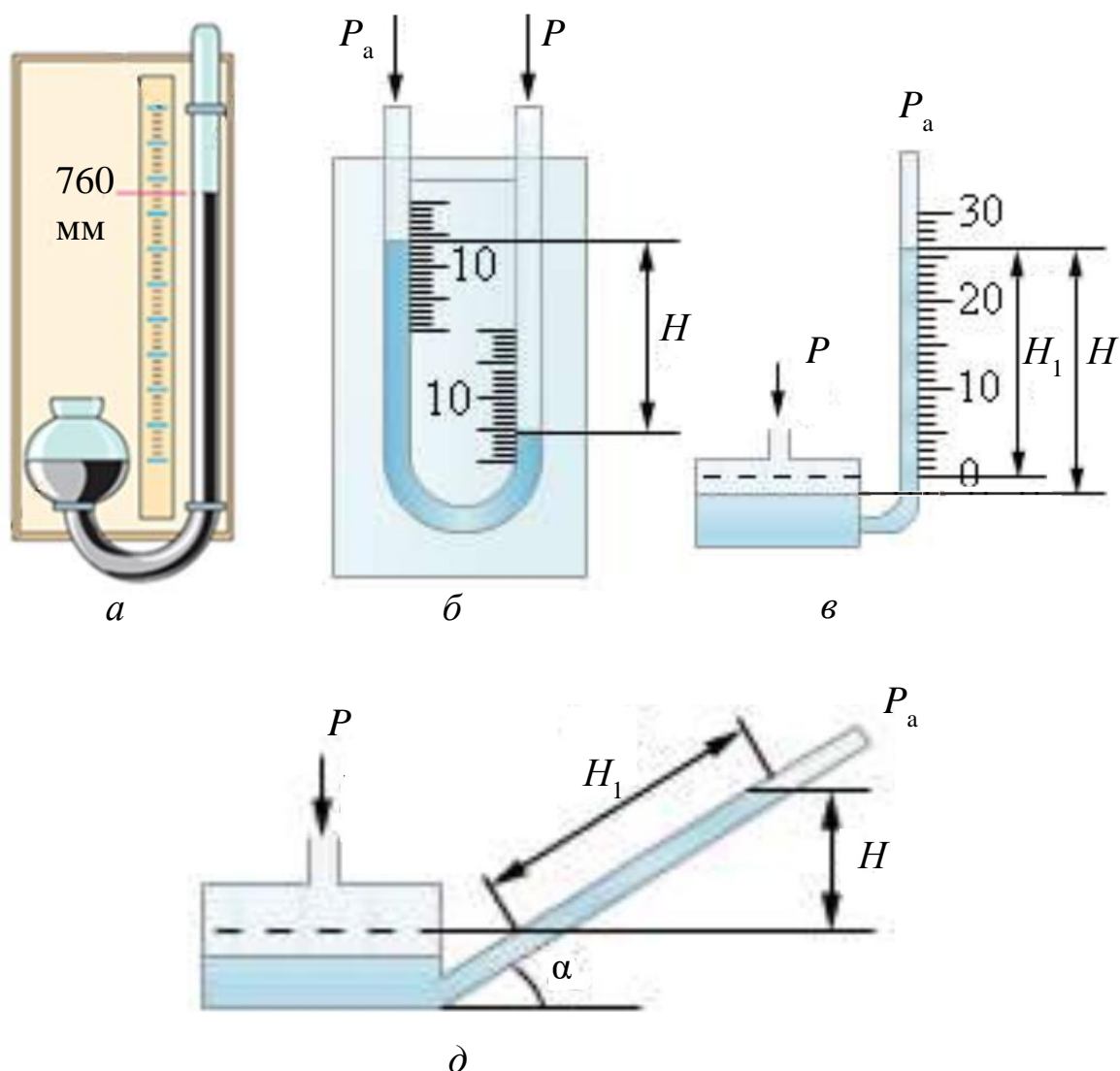


Рисунок 2 – Рідинні прилади вимірювання тиску:  
*a* – барометр; *б* – «U»-подібний манометр; *в* – чашковий манометр;  
*д* – мікроманометр

При необхідності в показаннях барометра враховують поправки:

- інструментальну, що залежить від точності виготовлення приладу (за даними паспорту приладу);
- на приведення до нормальної сили тяжіння, що залежить від географічної широти і місця установки приладу над рівнем моря.

На приведення показань барометра до температури 0 °C:

$$\Delta H = \mp(\alpha - \beta) \cdot t \cdot H,$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт розширення ртуті ( $\alpha = 0,000182$  град<sup>-1</sup>);  
 $\beta$  – коефіцієнт розширення шкали приладу ( $\beta = 0,000019$  град<sup>-1</sup>);  
 $t$  – температура повітря навколо приладу.

Поправка приймається зі знаком «–» при температурі вище 0 °С і зі знаком «+» при температурі нижче 0 °С.

При вимірюванні тиску або розрідження порожнина, в якій вимірюється тиск або розрідження, з'єднується з одним з кінців «U»-подібного манометра, а другий кінець поєднаний з атмосферою (рис. 2, в). Надмірний тиск визначається за висотою стовпа рідини, Па

$$P_{\text{надл}} = \frac{\gamma \cdot H \cdot S}{S} = \gamma \cdot H,$$

де  $\gamma$  – питома вага рідини ( $\gamma_{\text{води}} = 9,81 \cdot 10^3$  Н / м<sup>3</sup>,

$\gamma_{\text{ртуті}} = 133,38 \cdot 10^3$  Н / м<sup>3</sup>);

$H$  – висота стовпа рідини;

$S$  – площа поперечного перерізу стовпа рідини, м<sup>2</sup>.

Для вимірювання тиску чашковим приладом (рис. 2, в) об'єм, в якому вимірюється тиск, приєднують трубою до порожнини широкої судини з рідиною.

При вимірюванні тиску або розрідження мікроманометром або мікровакууметром висота стовпа рідини (рис. 2, з)

$$H = H_1 \cdot \sin(\alpha),$$

де  $H_1$  – довжина похилої трубки, що заповнена рідиною;

$\alpha$  – кут нахилу трубки відносно горизонталі.

## 2.2. Пружинні прилади

У пружинних приладах сила тиску врівноважується силами пружинних елементів, деформація яких пропорційна силі тиску, переміщенню або зусиллю. Переваги деформаційних приладів – простота пристрою, надійність, універсальність, портативність і великий діапазон вимірюваних величин.

За конструкцією пружні елементи можуть бути виконані по-різному (рис. 3) з різними механізмами перетворення величини деформації пружинного елемента до пристрою реєстрації. За видом чутливого елемента деформаційні прилади діляться на такі групи: прилади з трубчастою пружиною (рис. 3 а, б): мембранні прилади, у

яких пружним елементом служить мембрана (рис. 3, в), анероїдна, або манометрична коробка (рис. 3, д, е), блок анероїдних, або манометричних коробок (рис. 3, ж, к), пружинно-мембранні з гнучкою мембраною (рис. 3, л): прилади з пружною мембраною (сильфоном) (рис. 3, м); пружинно-сильфонні (рис. 3, н).

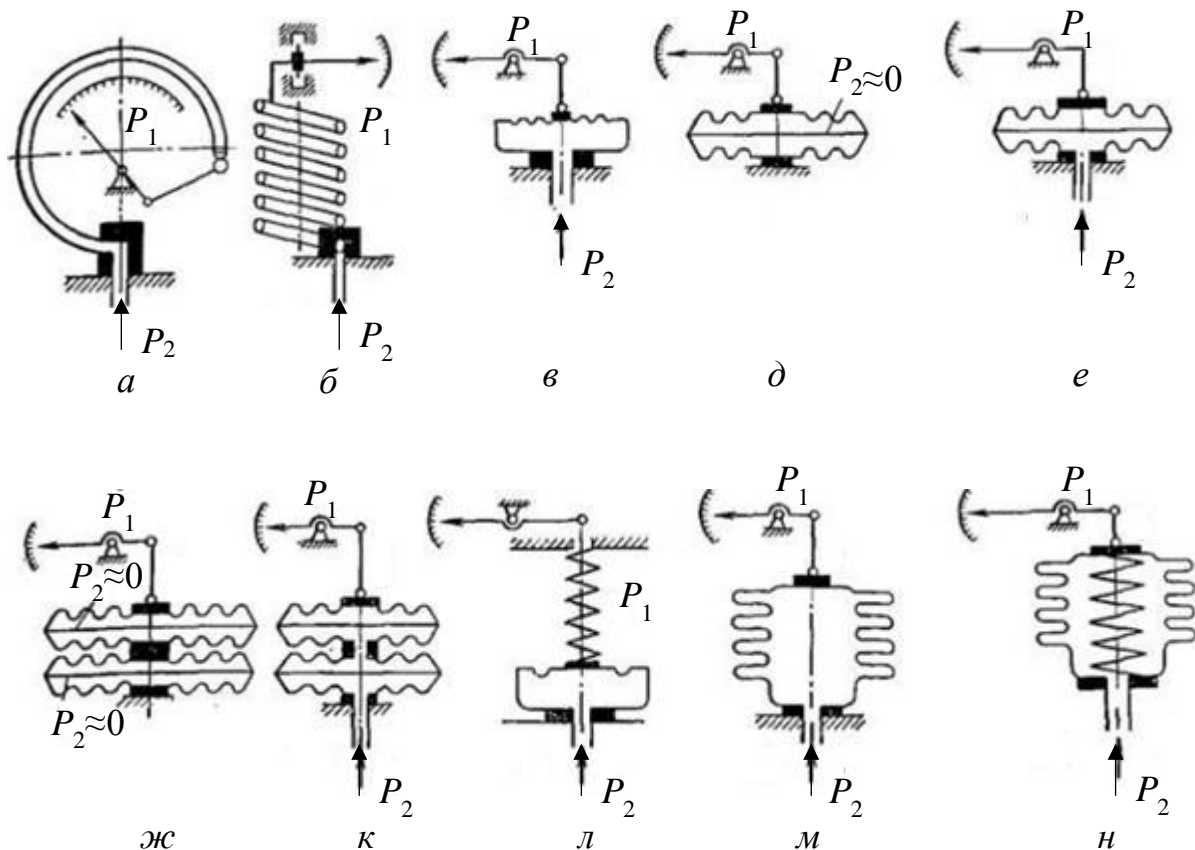


Рисунок 3 – Основні типи пружних елементів

Найбільш широко застосовують прилади (манометри, вакуумметри, мановакуумметри і дифманометри) з одновитковою трубчастою пружиною.

Основна деталь приладу з одновитковою трубчастою пружиною – зігнута по дузі кола трубка еліптичного або плоскоовального перетину.

Тиск у всіх напрямках однаковий. У сплюсненій трубці тиск прагне перетворити трубку в коло. На рис. 4, а видно, що домінують вектори результуючих сил, які прагнуть округлити поперечний переріз. Якщо сплюснена трубка вигнута в спіраль, тиск буде прагнути випрямити цю спіраль. Якщо один кінець спіралі

закріплений, а інший може вільно переміщатися, величина такого переміщення пропорційна тиску. Описаний пристрій називають трубкою Бурдона (рис. 4).

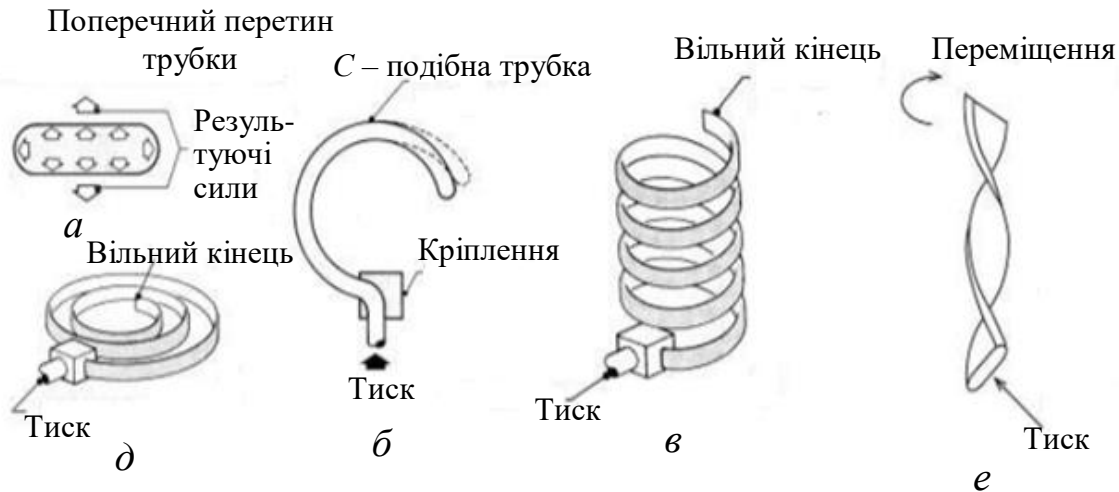


Рисунок 4 – Трубки Бурдона різних типів

Найчастіше трубка Бурдона має С-подібну форму (рис. 4). Один кінець прикріплений до блоку, де вводиться тиск, інший кінець запаяний і приводить у рух зубчастий механізм, який збільшує переміщення, перетворюючи його в поворот стрілки на кут до  $270^\circ$  або приводячи в дію датчик тиску. Найбільш поширеним зубчастим механізмом є пара, що складається з сектора і шестерні (рис. 5). Цей механізм перетворює мале бічне переміщення кінця трубки у значний коловий рух стрілки. Передбачено регулювання діапазону в механізмі і корекція нуля на стрілці-показчику.

Іншими поширеними формами є плоскі і просторові спіралі. Якщо трубці надати форму плоскої спіралі (рис. 4, а), переміщення її кінця збільшується. Стрілка може приводитися в рух або безпосередньо, або за допомогою зубчастого сектора і шестерні. У разі просторової спіралі (рис. 4, в) трубці надається спіральна форма, що має вигляд пружини. Чутливість такого пристрою вище, ніж трубки у формі плоскої спіралі. Рідше використовується спіральна трубка Бурдона (рис. 4, г).

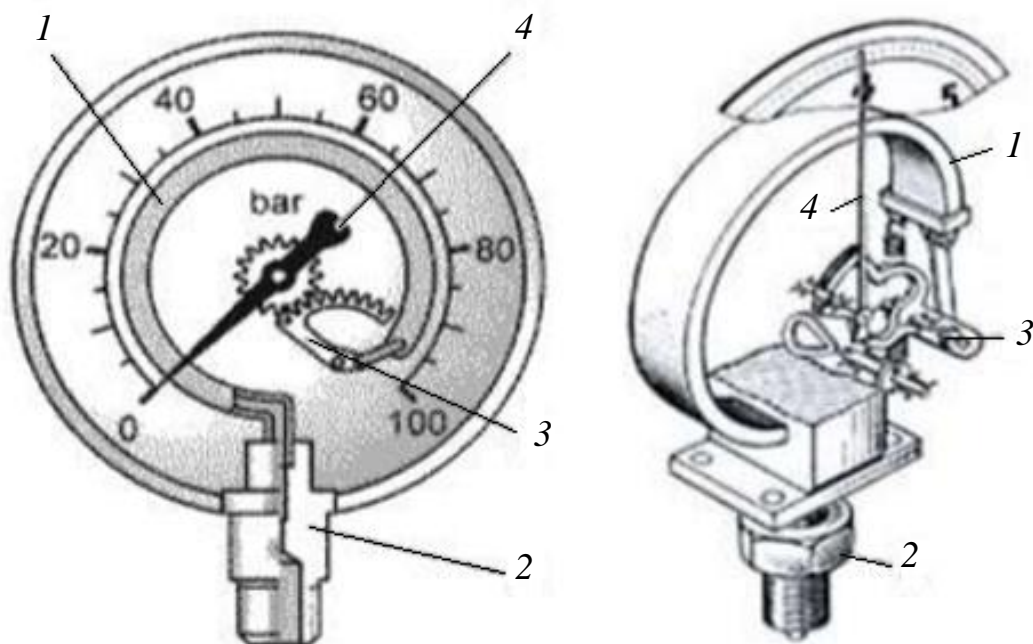


Рисунок 5 – Схема роботи приладу з одновитковою трубчастою пружиною:

1 – С-подібна трубка Бурдона; 2 – тримач;  
3 – зубчастий сектор; 4 – стрілка

Якщо рідина, газ, пара або його конденсат хімічно активні відносно матеріалу частин приладу, то перед манометром встановлюють мембранний пристрій (рис. 6, а) або розподільчу посудину (рис. 6, б), заповнену інертною рідиною.

Тиск контрольованого середовища передається манометру через роздільну рідину або роздільну мембрану. Роздільна рідина не повинна хімічно взаємодіяти з вимірюваним середовищем або змішуватися з ним, повинна бути нейтральна до матеріалу сполучних трубок, розділових пристроїв і манометра. Залежно від властивостей вимірюваного середовища і умов експлуатації розділові рідини застосовують: воду, технічні масла, гліцерин, водні розчини гліцерину, етилен-гліколь, чотирихлористий вуглець, гас та інші рідини.

Для захисту від нагрівання випромінюванням манометр повинен бути або віддалений від апарата на достатню відстань, або закритий екраном, що поглинає теплові промені.

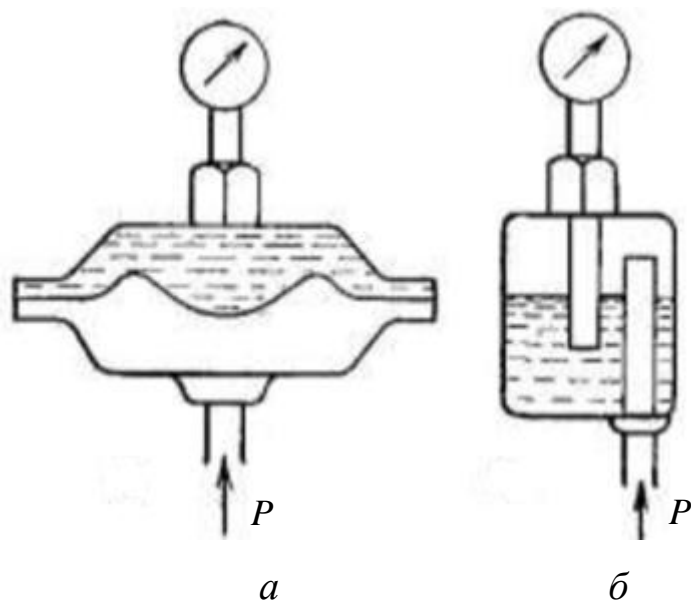


Рисунок 6 – Розділові пристрої

Пружинні прилади поділяються на зразкові і робочі. Останні діляться на контрольні, лабораторні та технічні. Періодична перевірка зразкових приладів вимірювання тиску здійснюється по рідинним манометрам (при невисоких значеннях тиску) або зразковим поршневим, робочих контрольних – по зразковим пружинним приладам, робочих технічних – по робочим контрольним.

Максимальна похибка приладу не повинна перевищувати допустиму за класом точності приладу. Клас точності приладу – допустима максимальна похибка вимірювання тиску (розрідження) від верхнього значення шкали вимірювання. Наприклад, при класі точності приладу 1,5 і значенні верхньої шкали приладу 10 МПа допустима максимальна похибка не повинна перевищувати  $0,015 \cdot 10 = 0,15$  МПа.

### 2.3. Поршневі прилади

Поршневі манометри – найбільш стабільні і точні прилади, які дають найкращу серед існуючих подібних приладів повторюваність результатів вимірювань. Поршневим приладом (рис. 7), на відміну від пружинних, тиск визначається прямими вимірами. Сила тиску рідини на поршень 2, встановлений з зазором в 1 – 2 мкм в корпусі 1, врівноважується вагою каліброваних вантажів 4 на тарілці 3, з'єднаної з поршнем 2, тарілки 3 і поршня 2. Значення тиску рідини в корпусі 1 у стані рівноваги дорівнює силі тиску рідини на поршень і вазі вантажів, тарілки і поршня:

де  $G_1, G_2, G_3$  – вага вантажів, тарілки, поршня, Н;  
 $F$  – площа поршня,  $\text{м}^2$ .

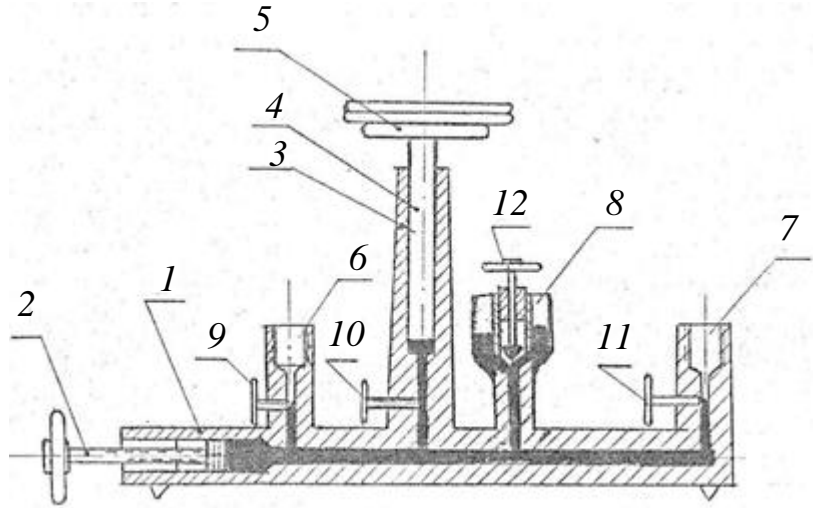


Рисунок 8 – Зразковий поршневий манометр

Передбачено також запірний вентиль 12 в каналі, що з'єднує ємність з маслом і робочу порожнину гідравлічного пресу.

13

## 2.4. Електричні прилади

Електричні датчики тиску перетворюють прикладений тиск в електричний сигнал, який забезпечує різноманітність вибору застосувань і зручність обробки та передачі сигналу на відстань.

*Тензометричний метод.* В даний час основна маса датчиків тиску в нашій країні випускаються на основі чутливих елементів (рис. 9), принципом яких є вимірювання деформації тензорезисторів, сформованих в епітаксіальній плівці кремнію на підкладці з сапфіру, припаяної твердим припоєм до титанової мембрани. Іноді замість кремнієвих тензорезисторів використовують металеві: мідні, нікелеві, залізні та ін.

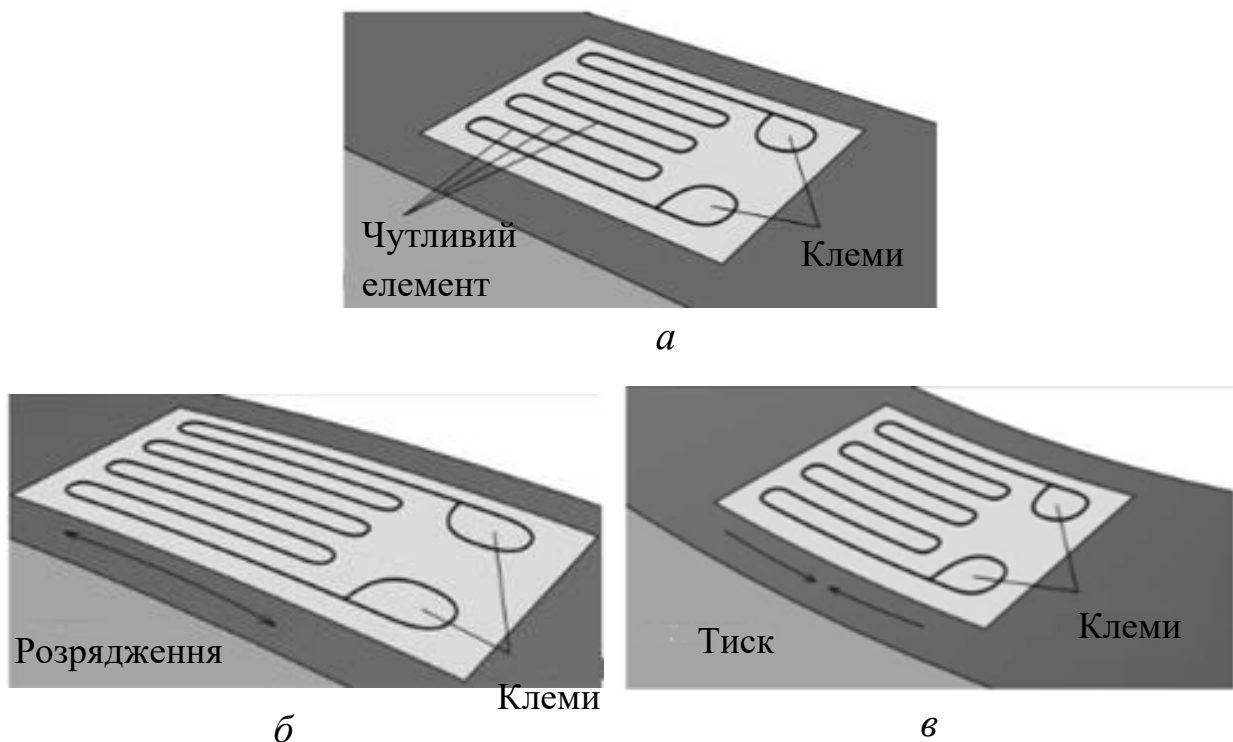


Рисунок 9 – Тензорезистивний чутливий елемент

Принцип дії тензоперетворювача базується на явищі тензоефекту в матеріалах. При вимірі розрядження (рис. 9, б) тензорезистивний елемент розтягується, при цьому зростає опір, що вимірюються на клемі. У разі вимірювання тиску (рис. 9, в) резистивний елемент стискається, при цьому його опір зростає. Чутливим елементом, як правило, слугує мембрана з тензорезисторами, з'єднаними в мостову схему (рис. 10). Під дією тиску вимірюваного середовища мембрана прогинається, тензорезистори змінюють свій опір, що призводить до



розбалансування мосту. Розбалансування лінійно залежить від ступеня деформації резисторів і, отже, від прикладеного тиску.

Слід зазначити принципове обмеження таких перетворювачів – фатально тимчасову нестабільність градувальної характеристики і суттєві гістерезисні ефекти від тиску і температури. Це обумовлено неоднорідністю конструкції і жорстким зв'язком мембрани з конструктивними елементами датчика. Тому, обираючи перетворювач, необхідно звернути увагу на величину основної похибки з урахуванням гістерезису і величину додаткової похибки.

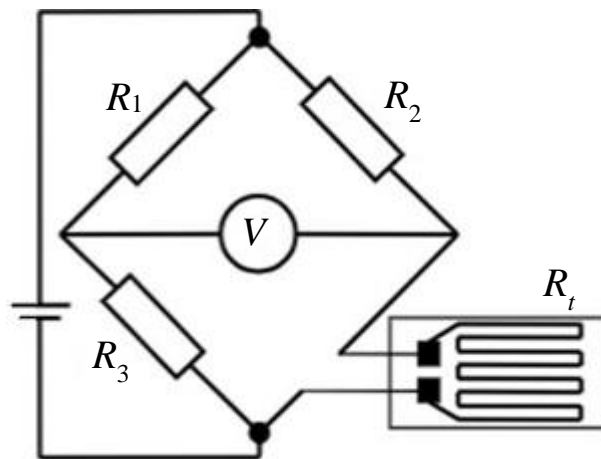


Рисунок 10 – Схема підключення тензорезистивного чутливого елемента

До переваг можна віднести належний захист чутливого елемента від впливу будь-якого агресивного середовища, низьку вартість.

*П'єзорезистивний метод.* Практично всі виробники датчиків виявляють жвавий інтерес до використання інтегральних чутливих елементів на основі монокристалічного кремнію. Це обумовлено тим, що кремнієві перетворювачі мають на порядок більшу тимчасову і температурну стабільність у порівнянні з попереднім приладом. Кремнієвий інтегральний перетворювач тиску (ІПТ) є мембраною з монокристалічного кремнію з дифузійними п'єзорезисторами, підключеними до мосту Уінстона. Чутливим елементом служить кристал, що встановлений на діелектричну підставку з використанням легкоплавкого скла.

Для вимірювання тиску чистих неагресивних середовищ застосовуються так звані «Low cost» – рішення (рис. 11), що базуються на використанні чутливих елементів без захисту або з захистом силіконовим гелем.

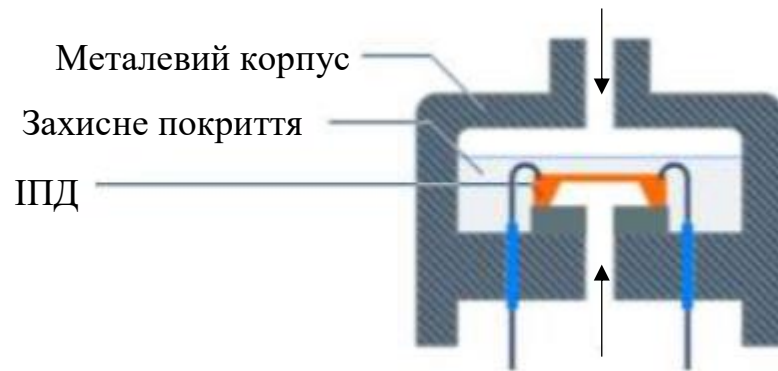


Рисунок 11 – «Low Cost» – рішення для п'єзорезистивних чутливих елементів з використанням захисного покриття

Для вимірювання агресивних середовищ застосовується перетворювач тиску в герметичному металево-скляному корпусі, з розділовою діафрагмою з нержавіючої сталі, що передає тиск вимірюваного середовища на ІПД за допомогою кремнійорганічної рідини (рис. 12).



Рисунок 12 – Перетворювач тиску, захищений від вимірюваного середовища за допомогою корозійностійкої мембрани

Основною перевагою п'єзорезистивних датчиків є більш висока стабільність характеристик. ІПД на основі монокристалічного кремнію стійкі до впливу ударних і знакозмінних навантажень. Якщо не відбувається механічного руйнування чутливого елемента, то після зняття навантаження він повертається до початкового стану, що пояснюється використанням ідеально-пружного матеріалу.

*Ємнісний метод.* Ємнісні перетворювачі використовують метод зміни ємності конденсатора при зміні відстані між обкладками. Відомі керамічні або кремнієві ємнісні первинні перетворювачі тиску та перетворювачі, виконані з використанням пружної металевої

мембрани. При зміні тиску мембрана з електродом деформується і відбувається зміна ємності.

В елементі з кераміки або кремнію простір між обкладками зазвичай заповнений мастилом або іншою органічною рідиною (рис. 13).

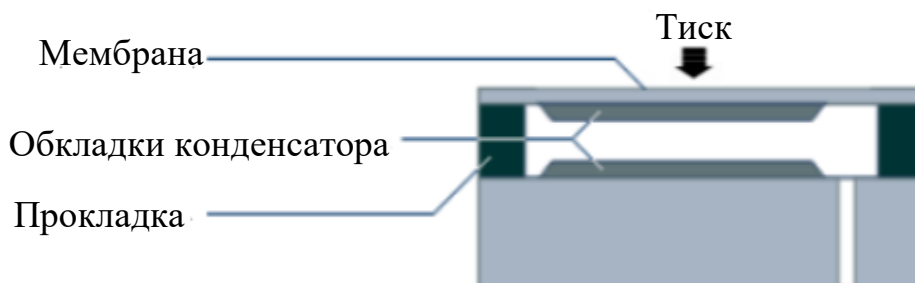


Рисунок 13 – Ємнісний керамічний перетворювач тиску

При використанні металевої діафрагми (рис. 14) осередок ділиться на дві частини, з одного боку якої розташовані електроди.

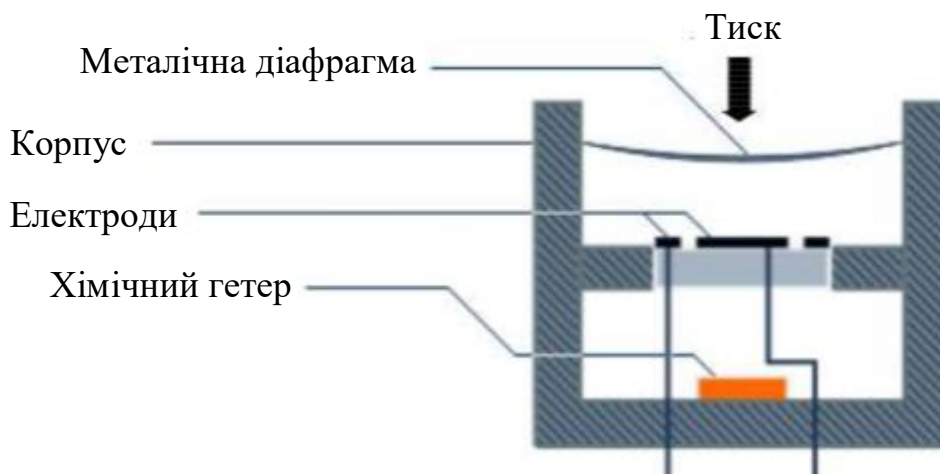


Рисунок 14 – Ємнісний перетворювач тиску з рухомою обкладкою конденсатора у вигляді металевої діафрагми

Електроди з діафрагмою утворюють дві змінні ємності, включені в плечі вимірювального моста. Коли тиск по обидва боки однаковий, міст збалансований. Зміна тиску в одній з камер призводить до деформації мембрани, що змінює ємність та розбалансовує міст. В даний час сенсори виготовляються з електродами, розташованими з одного боку від діафрагми. Газ буде контактувати тільки з камерою, що виконана з нержавіючої сталі або іншого металу. Це дозволяє проводити вимірювання тиску

забруднених, агресивних, радіоактивних газів і сумішей невідомого складу.

Перевагою чутливого ємнісного елемента є простота конструкції, висока точність і тимчасова стабільність, можливість вимірювати низький тиск і слабкий вакуум. До недоліку можна віднести нелінійну залежність ємності від прикладеного тиску.

*Резонансний метод.* Резонансний принцип використовується в датчиках тиску на основі вібруючого циліндра, струнних датчиків, кварцових датчиків, резонансних датчиків на кремнії. В основі методу лежать хвильові процеси: акустичні або електромагнітні. Це і пояснює високу стабільність датчиків і високі вихідні характеристики приладу. Прикладом може служити кварцовий резонатор (рис. 15). При прогині мембрани відбувається деформація кристала кварцу, підключеного в електричну схему, і його поляризація. В результаті зміни тиску частота коливань кристала змінюється. Підібравши параметри резонансного контуру, змінюючи ємність конденсатора або індуктивність котушки, можна домогтися того, що опір кварцу знижується до нуля – частоти коливань електричного сигналу і кристала збігаються – настає резонанс.

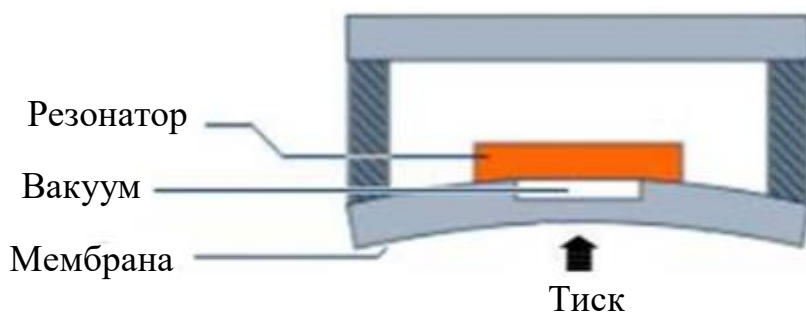


Рисунок 15 – Спрощене зображення резонансного чутливого елемента, який виконано на кварці

Перевагою резонансних датчиків є висока точність і стабільність характеристик, яка залежить від якості використовуваного матеріалу. До недоліків можна віднести індивідуальну характеристику перетворення тиску, значний час відгуку, неспроможність проводити вимірювання в агресивних середовищах без втрати точності показань приладу.

*Індукційний метод.* Індукційний спосіб базується на реєстрації вихрових струмів. Чутливий елемент складається з мембрани і двох котушок (рис. 16) або однієї котушки і постійного магніту (рис. 17).

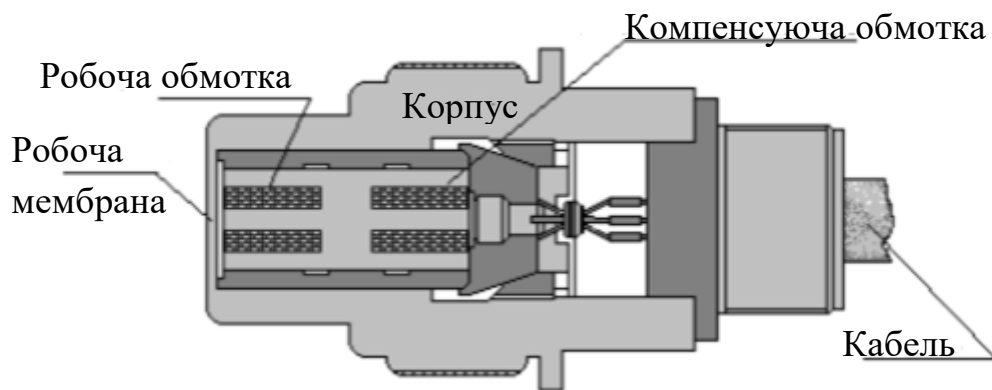


Рисунок 16 – Індукційний перетворювач тиску з двома котушками

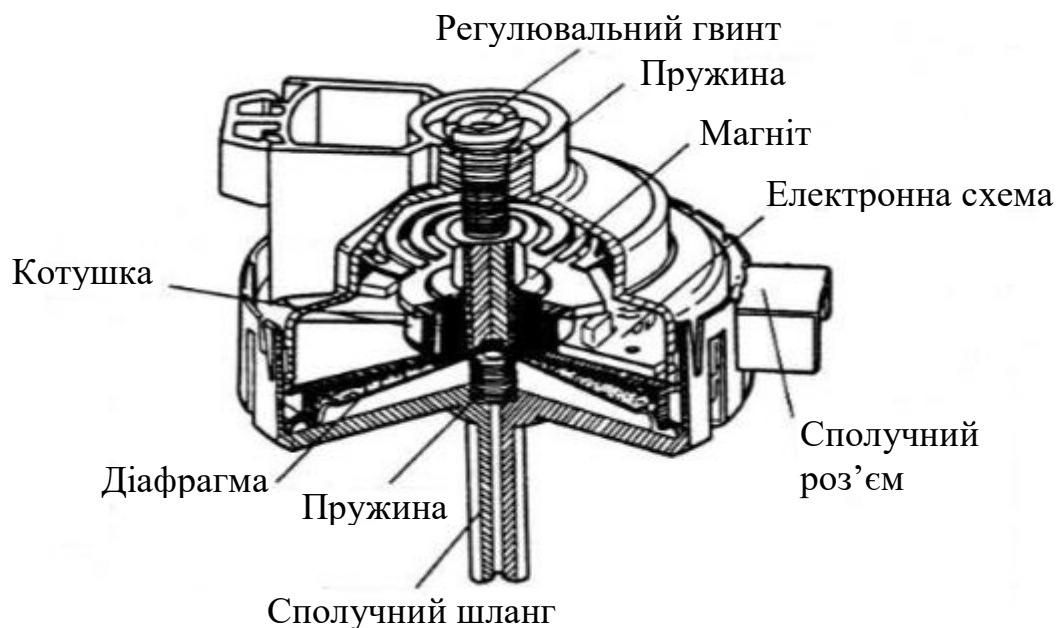


Рисунок 17 – Індукційний перетворювач тиску з котушкою і постійним магнітом

Перетворювач вимірює зміщення мембрани за відсутності механічного контакту. У котушках генерується електричний сигнал змінного струму таким чином, що заряд і розряд котушок відбувається через однакові проміжки часу. При відхиленні мембрани створюється струм у фіксованій основній котушці, що призводить до зміни індуктивності системи. Зміна характеристик основної котушки дає можливість перетворити тиск у стандартизований сигнал, за своїми параметрами прямо пропорційний прикладеному тиску.

Перевагою такої системи є можливість вимірювання низьких надлишкових і диференціальних тисків, досить висока точність і незначна температурна залежність. Однак датчик чутливий до

магнітних впливів, що пояснюється наявністю котушок, які при проходженні змінного сигналу створюють магнітне поле.

*Іонізаційний метод.* Іонізаційний вакуумметр з зарядженим катодом призначений для вимірювання вакууму. Дія вакуумметра базується на іонізації молекул газу потоком електронів, що випускаються розжареним катодом або випромінюваних радіоактивною речовиною. У першому випадку перетворювачем є трьохелектродна манометрична лампа, балон 1 якої з'єднаний з вимірюваним середовищем (рис. 18). У балоні розташовані: катод 2, сітка 3 і анод-колектор 4. Електрони, що вилітають з катода, притягуються позитивно зарядженим анодом.

Залежно від тиску газу електрони на своєму шляху іонізують більше чи менше число молекул. Іони збираються колектором і створюють струм, сила якого пропорційна силі анодного струму і тиску газу.

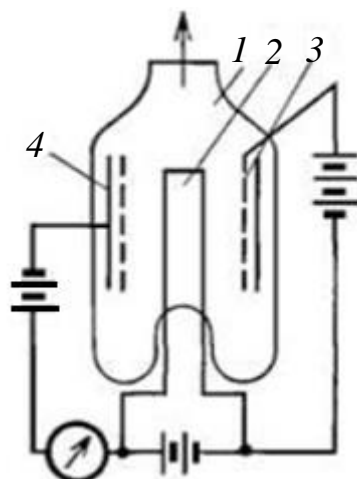


Рисунок 18 – Іонізаційний вакуумметр

У іншому випадку, при невеликих вимірюваних тисках і невеликих розмірах радіоізотопних манометрів, ефективніше застосовувати  $\alpha$ -випромінювання, що володіє найвищою іонізуючою здатністю на 1 см довжини пробігу частинок. Якщо розміри іонізаційної камери значно менше довжини пробігу  $\alpha$ -частинок, то сила іонного струму на негативно зарядженому колекторі буде лінійною функцією тиску.

Для усунення впливу зовнішніх наведень іонізаційні камери монтують в одному корпусі з першим каскадом електронного підсилювача. Такі манометри відрізняються малою інерційністю, високою перевантажувальною здатністю, відсутністю гістерезиса,

легкістю передачі показань на відстань і зміни діапазону вимірювань. Випромінювачами можуть служити ізотопи радію, торію, полонію і ін.

### **3. Хід виконання лабораторної роботи**

Пружинні манометри періодично перевіряють, тому що з часом зношуються деталі передавального механізму, змінюються пружні властивості пружини чутливого елемента. Підлягають перевірці і манометри після ремонту. Робочі пружинні манометри перевіряють за допомогою зразкових пружинних манометрів. Зразкові пружинні манометри перевіряють за зразковими поршневыми.

Послідовність операцій при перевірці манометра така:

1. Провести зовнішній огляд і перевірку положення стрілки манометра без навантаження. Стрілки манометра, що перевіряється, і зразкового манометрів повинні бути на «0» і упиратися в штифт. При постукуванні пальцем по корпусу манометра положення стрілки повинно бути на «0». Робочі манометри класу 1; 1,5; 2,5; 4 проводять шляхом порівняння із зірцевим класу 0,2.

2. Встановити зразковий і той, що перевіряється, манометри в гнізда штуцерів 6 і 7 (рис. 8).

3. Обертаючи гвинт гідравлічного пресу 2, підвищити тиск в системі і знімати показання того що перевіряється і зразкового манометрів і заносити їх в табл. 2. При перевірці в робочому діапазоні через рівні інтервали знімають не менше п'яти показань.

4. Досягнувши манометром, що перевіряється, граничного значення тиску за шкалою, перекривають вентиль підведення рідини до манометра, що перевіряється, і знімають тиск у порожнині преса. Витримують при цьому значенні тиску манометр, що перевіряється, протягом 5 хв.

5. Піднявши тиск у порожнині преса до максимального, відкрити вентиль і, поступово знижуючи тиск, знову знімати показання того, що перевіряється, і зразкового манометрів не менше, ніж у п'яти точках.

6. Визначити максимальну абсолютну та відносну похибку у відсотках від максимального значення шкали і звірити її з класом приладу, що перевіряється. Якщо відносна похибка перевищує значення класу приладу, прилад підлягає ремонту.

7. Зробити висновок.

Таблиця 2 – Протокол перевірки пружинного манометра

Дата \_\_\_\_\_

Манометр № \_\_\_\_\_

Межа шкали \_\_\_\_\_

Клас точності \_\_\_\_\_

Показання зразкового манометра $P_1$ , МПа	Показання манометра, що перевіряється, МПа		Абсолютна похибка, МПа		Відносна похибка, %	
	при підвищенні тиску $P_2$ , МПа	при зниженні тиску $P_2'$ , МПа	при підвищенні тиску $P_1-P_2$ , МПа	при зниженні тиску $P_1-P_2'$ , МПа	при підвищенні тиску $\frac{P_1-P_2}{P_{\max}} \cdot 100\%$	при зниженні тиску $\frac{P_1-P_2'}{P_{\max}} \cdot 100\%$



## Лабораторна робота 2

### Вимірювання температури

*Мета роботи* – вивчити будову та принцип дії приладів для вимірювання температури, уможливити відбір проб температури кипіння води ртутним термометром і термометром опору.

#### 1. Основні поняття

Згідно з молекулярно - кінетичною теорією всі тіла складаються з молекул, що знаходяться в безладному тепловому русі. Нагрівання підсилює безладний рух молекул, збільшує внутрішню енергію тіла, яка складається з кінетичної енергії тиску молекул і їх взаємної потенційної енергії.

Температура є мірою інтенсивності теплового руху молекул, мірою нагрітості тіла: її чисельна величина однозначно пов'язана з величиною середньої кінетичної енергії молекул речовини. Для ідеального газу при не надто низьких температурах ця залежність відома у вигляді:

$$T = \frac{2}{3 \cdot k} \cdot \frac{m \cdot v^2}{2},$$

де  $\frac{m \cdot v^2}{2}$  – середня кінетична енергія поступального руху молекул;

$k$  – стала Больцмана.

Для реальних газів, рідин і твердих тіл залежність між температурою і внутрішньою енергією значно складніша.

В системі СІ температура вимірюється за термодинамічною шкалою Кельвіна. Крім термодинамічної шкали температур для вимірювань використовується Міжнародна практична шкала, яка ґрунтується на шести базових значеннях температури, що відповідають умовам рівноваги твердої і рідкої або рідкої і газоподібної фаз різних речовин при нормальному атмосферному тиску ( $P_{\text{бар}} = 760 \text{ мм рт. ст} = 101325 \text{ Па}$ ):

- точка кипіння кисню  $-182,97 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- точка плавлення льоду  $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- точка кипіння води  $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- точка кипіння сірки  $444,60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- точка затвердіння розплавленого срібла  $960,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- точка затвердіння розплавленого золота  $1063,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Як одиницю вимірювання температури приймають 1 К, або 1 °С залежно від початку відліку. У термодинамічній шкалі температур за 0 приймається стан спокою молекул, що відповідає  $-273,16\text{ }^{\circ}\text{C}$ , тобто

$$T[\text{K}] = t[^{\circ}\text{C}] + 273,16.$$

## 2. Прилади для вимірювання температури

Прилади, які вимірюють температуру до  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ , називаються термометрами, а прилади, що вимірюють вищу температуру, – пірометрами. Залежно від способу вимірювання температури прилади вимірювання температури поділяються на групи:

- термометри розширення (від  $-200$  до  $+500\text{ }^{\circ}\text{C}$ );
- манометричні термометри (від  $-60$  до  $+550\text{ }^{\circ}\text{C}$ );
- електричні термометри опору (від  $-200$  до  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ );
- термоелектричні пірометри (термопари) (від  $+200$  до  $+1600\text{ }^{\circ}\text{C}$ );
- пірометри випромінювання (понад  $1600\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

### 2.1. Термометри розширення

Принцип роботи термометрів розширення базується на властивості речовин змінювати об'єм при зміні температури. В якості таких речовин використовують в основному ртуть, спирт, толуол, пентан. Найбільш поширені ртутні термометри для вимірювання температури в межах від  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+600\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Схеми установлення ртутних термометрів показані на рис. 19.

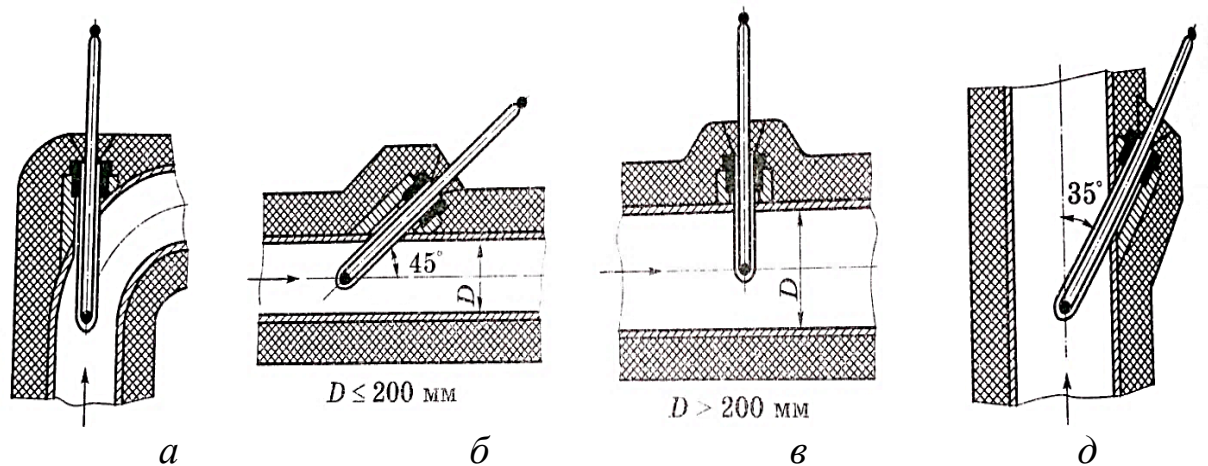


Рисунок 19 – Варіанти установлення ртутного термометра:

*а* – уздовж осі трубопроводу; *б* – похило до осі горизонтального трубопроводу; *в* – нормально до осі горизонтального трубопроводу; *д* – на вертикальному трубопроводі; *D* – діаметр трубопроводу

При установленні ртутних термометрів у трубопроводах у захисних гільзах центр колбочки з ртуттю повинен знаходитися по центру трубопроводу, де найвища температура і швидкість потоку (рис. 19, б). При температурі потоку до 150 °С гільза заповнюється маслом, при вищих температурах – гільзу з термометром заповнюють мідною тирсою.

Перевірку робочих термометрів здійснюють за зразковим у точках танення льоду і кипіння води, похибку вносять в паспорт ( $\Delta t$ ).

При необхідності вносять поправку на розширення виступаючого стовпчика ртуті (рис. 20)

$$\Delta t_{\text{в}} = n \cdot \alpha(t' - t''),$$

де  $n$  – число поділок термометра, відповідне стовпчику ртуті;

$\alpha$  – коефіцієнт розширення ртуті у скляних капілярах (для скла, використовуваного в термометрах,  $\alpha = 0,16 \cdot 10^{-3}$  град);

$t'$  – температура, яка показується термометром, °С;

$t''$  – середня температура виступаючого стовпчика, яка визначається допоміжним термометром, прикріпленим до основного (рис. 20).

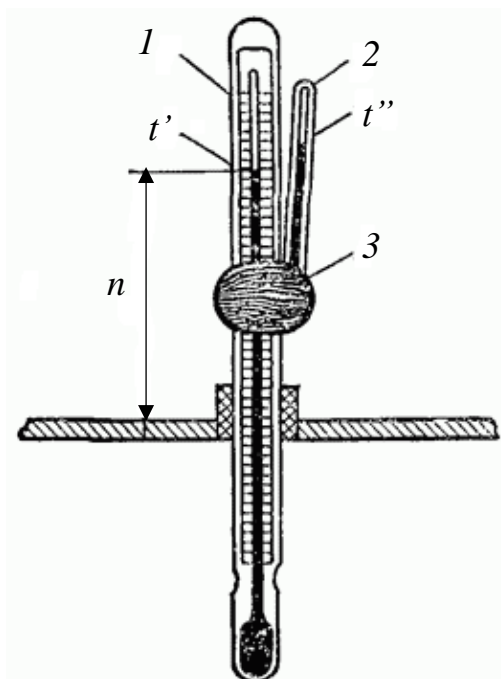


Рисунок 20 – Вимірювання температури виступаючого стовпчика лабораторного термометра:

1 – лабораторний термометр; 2 – допоміжний термометр;

3 – азбестовий шнур

## Температура середовища з урахуванням поправок

$$t = t' + \Delta t + \Delta t'_b,$$

де  $\Delta t$  – поправка на 0.

Можлива точність вимірювання температури ртутним термометром не перевищує 0,01 °С.

### 2.2. Манометричні термометри

Принцип роботи манометричних термометрів базується на зміні тиску в системі приладу залежно від зміни температури. Шкалу манометра, що контролює тиск у системі, при цьому тарують в градусах.

Схема і зовнішній вигляд приладу показано на рис. 21. До недоліків манометричних термометрів слід віднести невисоку точність і інерційність, внаслідок значного обсягу рідини в системі приладу.

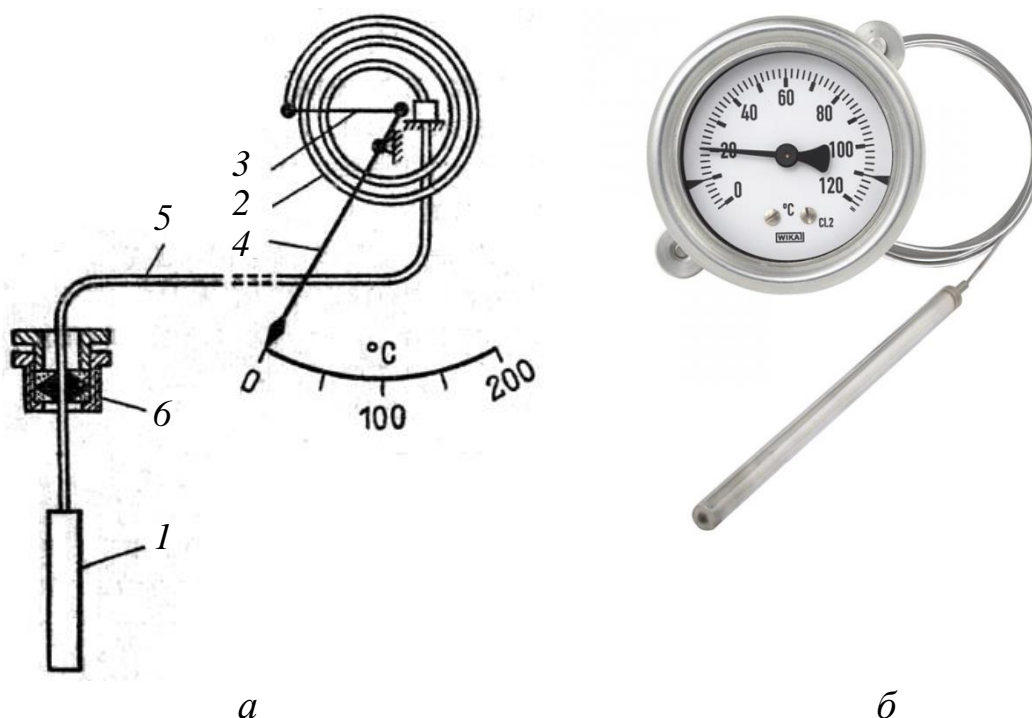


Рисунок 21 – Манометричний термометр:

*а* – схема: 1 – термобалон; 2 – трубчаста пружина; 3 – тяга;  
4 – стрілка; 5 – капілярна трубка; *б* – штуцер з сальниковим  
уцільненням; *б* – зовнішній вигляд

Замкнута система приладу, заповнена робочою речовиною, складається з термобалона 1, що занурюється у вимірюване середовище, трубчастої (манометричної) пружини 2, що впливає за допомогою тяги 3 на стрілку або перо приладу 4, і капілярної трубки 5, що з'єднує пружину з термобалоном.

Термобалон виконується із сталевий або латунної трубки, з одного кінця закритої, а з іншого – з'єднаної з капіляром за допомогою об'ємного штуцера 6 з сальниковим ущільненням і різьбленням. Термобалон встановлюється у ємностях для вимірювання.

При нагріванні термобалона тиск робочої речовини в ньому зростає, імпульс тиску передається через капіляр трубчастої пружини і викликає її переміщення. З'єднувальний капіляр, виконаний з мідної або сталевий трубки з внутрішнім діаметром 0,2 – 0,4 мм і товщиною стінки 0,5 – 2 мм, зовні захищений металевим обплетенням. Довжина його досягає 60 м.

Робочою речовиною газових манометричних термометрів є азот, для заповнення рідинних манометричних термометрів застосовується ртуть, ксилол, толуол при початковому тиску 1,5 – 2 МПа, для парорідинних – низькокиплячі органічні рідини (хлорид метилу, ацетон, бензол та ін.).

### **2.3. Електричні термометри опору**

Принцип роботи електричних термометрів опору базується на властивості провідників змінювати електричний опір при зміні температури (збільшувати опір при підвищенні температури і зменшувати – при зниженні температури).

Датчик (рис. 22) термометра опору (рис. 23) являє собою котушку з тонкого дроту, намотану на стрижень або пластину з ізоляційного матеріалу (слюда, кварц, кераміка тощо). Котушку для захисту від пошкоджень встановлюють зазвичай у захисний чохол. Дріт для датчиків виготовляють з міді (для вимірювань температур до 100 °С), платини (для вимірювань температур до 500 °С).

Як вимірювальні прилади використовують урівноважені вимірювальні мости, потенціометри і логометри. На схемі (рис. 23) у плечі вимірювального моста підключені датчик опору 1, опір якого  $R_t$  залежить від температури, градуйовані змінний опір  $R_3$  і постійні опори  $R_2$  і  $R_1$ . В одну з діагоналей моста включене джерело постійного струму 3, а в іншу – гальванометр 4. Коли міст

урівноважено (шляхом зміни опору  $R_3$ ), показання гальванометра дорівнює 0 (точки в плечах з опорами  $R_1$  і  $R_2$  однакові,  $I_1 = I_2$ ), тобто падіння напруги на цих опорах  $I_1 \cdot R_1 = I_2 \cdot R_2$ .

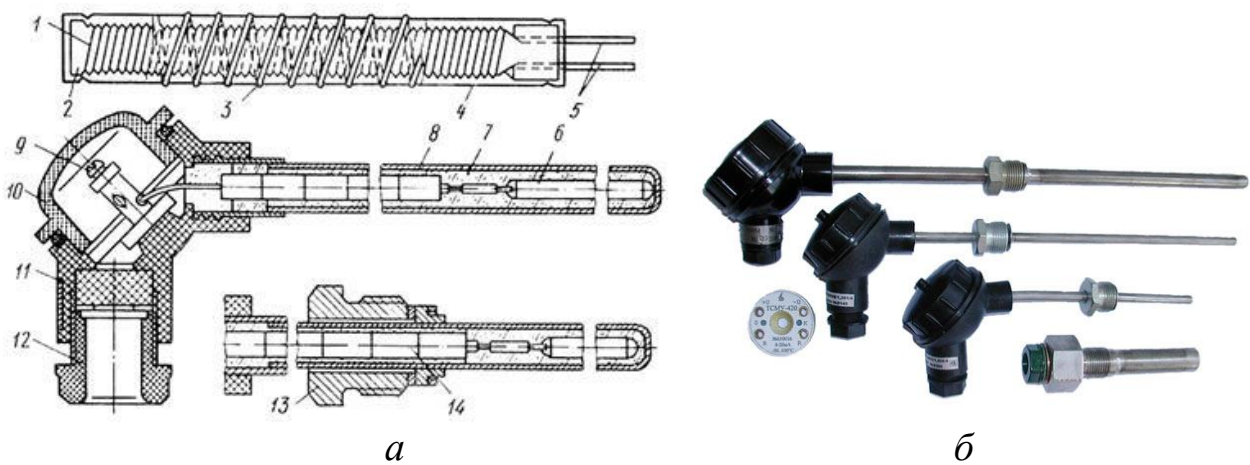


Рисунок 22 – Платиновий термоперетворювач опору:  
*а* – схема: 1 – платиновий дрiт; 2 – каркас; 3 – сiрiбна стрiчка;  
 4 – слюдяна пластинка; 5 – виводи; 6 – чутливий елемент;  
 7 – оксид амонiю; 8 – захисна арматура; 9 – зажим; 10 – кришка;  
 11 – головка; 12, 13 – штуцери пiд кабель i для крiплення оправи;  
 14 – iзолятори; *б* – зовнiшнiй вигляд

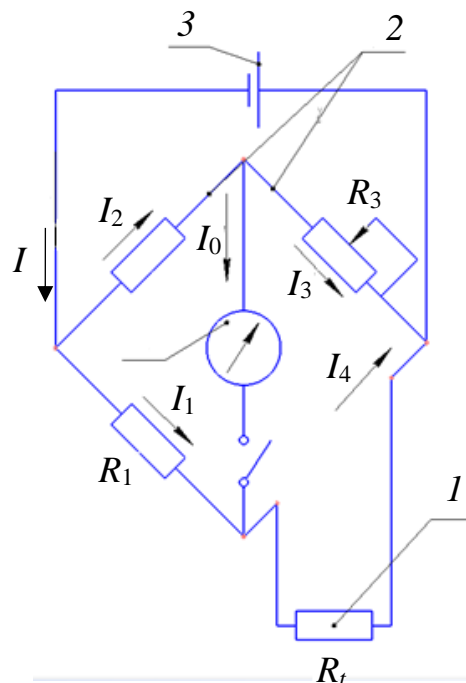


Рисунок 23 – Схема вимiрювального моста термометра опору:  
 1 – чутливий елемент; 2 – плечi моста; 3 – джерело живлення;  
 4 – гальванометр

Падіння напруги на протилежних плечах також однаково, тобто

$$I_3 \cdot R_3 = I_t \cdot (R_t + R_{\text{пр}}),$$

де  $R_{\text{пр}}$  – опір приєднувальних проводів.

При показанні гальванометра, відповідному  $I_0$ ,  $I_2 = I_3$  і  $I_1 = I_t$ .  
Тоді:

$$R_t = \frac{R_1}{R_2} R_3 - R_{\text{пр}}.$$

За допомогою наведеної залежності визначають опір  $R_t$ , а за значенням  $R_t$ , користуючись таблицями для стандартних мідних або платинових датчиків опору (дивись таблиці у додатку), – температуру.

На точність вимірювання температури впливає зміна опору з'єднувальних дротів. Опір мідних з'єднувальних дротів.

$$R_{\text{пр}} = R_{0\text{пр}} \cdot (1 + 4,28 \cdot 10^3 \cdot t),$$

де  $R_{0\text{пр}}$  – опір дротів при 0 °С.

Для точних вимірів опору датчиків температури використовують потенціометр, що дозволяє виключити вплив опору дротів.

Широко використовуються для вимірювання температури в комплектації з датчиками опору логометри, шкали яких градуйовані у градусах. У монтажній схемі логометра передбачено джерело живлення, еталонні і підгоночні опори для підгонки зовнішнього опору кола.

До переваг термометрів опору слід віднести можливості дистанційного вимірювання температури та автоматичного запису даних.

Таблиця 3 – Зміна опору датчиків температури залежно від температури

Матеріал	Температура, °С / Опір, Ом									
	0	25	50	75	100	150	200	300	400	500
Мідь	53	58,63	64,26	69,89	75,53	-	-	-	-	-
Платина	46	50,52	55,01	59,47	63,89	72,64	81,25	98,08	114,37	130,12



## 2.4. Термоелектричні пірометри

Принцип роботи термоелектричних пірометрів базується на властивості різнорідних металів, напівпровідників утворювати у спаї термоелектрорушійну силу (ТЕРС) (рис. 24), величина якої залежить від матеріалів електродів і температури спаю. Це явище обумовлено різною концентрацією вільних електронів в міжмолекулярному просторі провідників. Тому у спаї двох різнорідних провідників вільні електрони з провідника з більшою їхньою концентрацією будуть переходити у провідник з меншою концентрацією вільних електронів. Швидкість дифузії вільних електронів залежить від температури спаю.

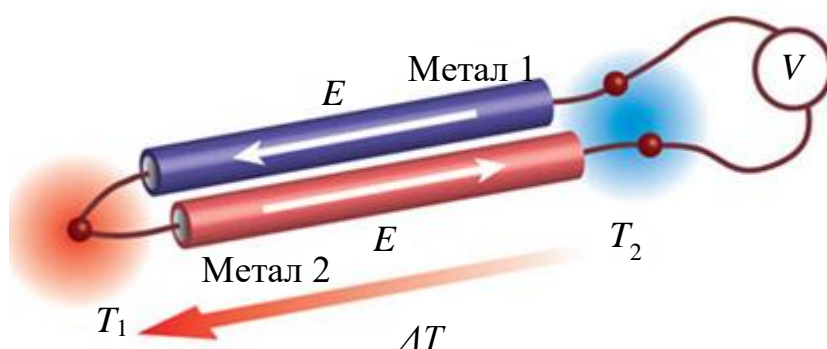


Рисунок 24 – Принцип дії термопар

У спаях двох провідників  $A$  і  $B$  з різнорідних матеріалів з температурою  $t$  і  $t_0$  (рис. 25) виникають ТЕРС  $E_{AB}(t)$  і  $E_{AB}(t_0)$ , спрямовані одна назустріч одній. Результуюча ТЕРС ланцюга:

$$E_{AB}(t, t_0) = E_{AB}(t) - E_{AB}(t_0).$$

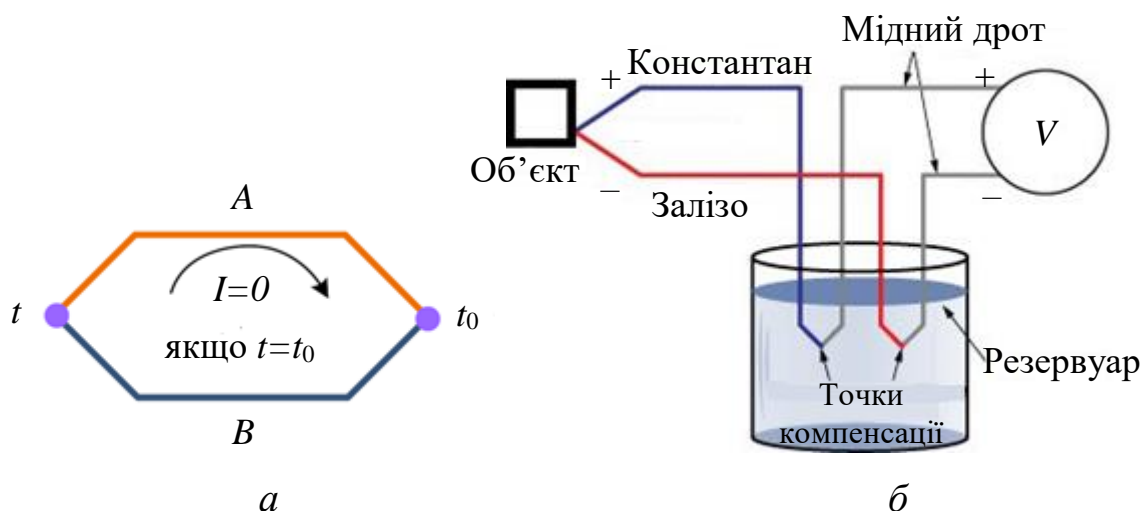


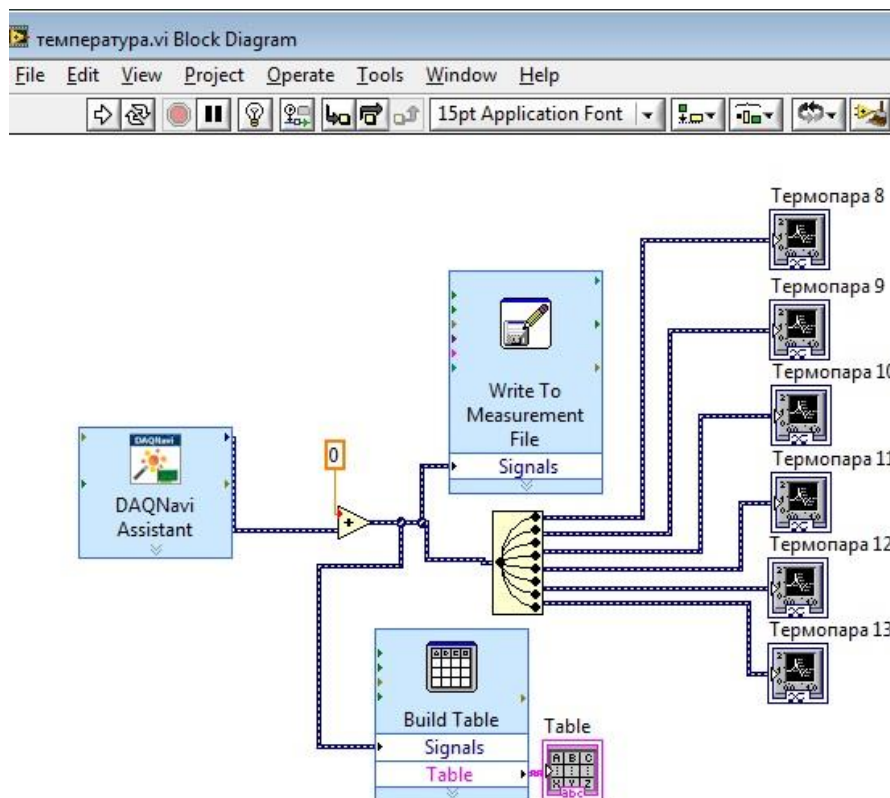
Рисунок 25 – Схеми термоелектричних ланцюгів



Для вимірювання результуючої ТЕРС ланцюга використовують вимірювальні прилади, шкала яких проградуйована в мілівольтах або градусах. Крім того, ТЕРС, що надходить від термопари, можливо виміряти модулем вводу сигналів від термопар Advantech USB-4718 (рис. 26, а), за допомогою якого сигнал обробляється, оцифровується та записується на жорсткий диск ЕОМ. Робота з модулем проводиться в розробленому на кафедрі ДВЗ НТУ «ХПІ» програмному забезпеченні у середовищі LabView, блок-схема програми наведена на рис. 26, б. Характеристики модуля наведено в табл. 4.



*a*



*б*

Рисунок 26 – Модуль вводу сигналів від термопар:  
Advantech USB-4718 (а) та блок-схема керування модулем (б)

Таблиця 4 – Технічні характеристики Advantech USB-4718

Умови експлуатації	
Температура навколишнього середовища	Від 0 до +60 °C
Відносна вологість навколишнього повітря	5 – 95 %
Специфікація	
Вхідні сигнали	Термопари типів <i>K, J, R, S, B, T, E</i>
Кількість каналів	8, диференційні
Інтерфейс зв'язку	USB 2.0
Роздільна здатність	16 біт
Частота вибірки	10 с <sup>-1</sup>
Частота запуску АЦП	92 дБ
Вхідний повний опір	1,8 МΩ
Контрольний таймер	1,6 с
Функція компенсації холодного спаю	+
Дрифт нуля, $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	$\pm 0,3$
Похибка вимірювання	$\pm 1\ ^\circ\text{C}$

Якщо один з спаїв (холодний спай) занурити в середовище з постійною температурою (наприклад, у воду при температурі танення льоду 0 °C), то величина ТЕРС буде залежати тільки від температури гарячого спаю з температурою  $t$  (рис. 25, б).

Температуру холодного спаю можна підтримувати постійною, видаливши його від гарячого за допомогою компенсаційних проводів, які зазвичай виготовляються з тих же матеріалів, що і термопари.

Полюсність компенсаційних проводів повинна відповідати полюсності термопари. Для хромель-алюмелевих термопар компенсаційним проводом для позитивного електрода буде хромель, а для негативного – алюмель.

Величина зовнішнього опору приладу для вимірювання ТЕРС вказується на шкалі мілівольтметра. При необхідності опір зовнішнього ланцюга підганяється за допомогою додаткових опорів.

Як матеріал для електродів термопар використовують дріт діаметром 0,5 – 3 мм з платини, міді, заліза, хромелю (90 % Ni, 10 % Chr), алюмелю (95 % Ni, 2 % Mn, 2 % Al, 1 % Si) та ін.

Межі вимірювання температури за допомогою термопар залежать від матеріалів електродів (табл. 5).

Таблиця 5 – Межі вимірювання температур стандартними термопарами

Матеріал термопари	Тип термопари	ТЕРС при $t = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	Верхня межа, $^{\circ}\text{C}$	
			при довготривалому використанні	при короткочасному використанні
Платина-платинородій	ТПП	0,64	1300	1600
Хромель-алюмель	ТХА	4,10	900	1250
Хромель-копель	ТХК	6,90	600	800
Залізо-константан	ТЗК	5,75	600	800
Мідь-константан	ТМК	4,75	350	500

Найбільш точний метод вимірювання ТЕРС термопар – компенсаційний, базований на порівнянні вимірюваної ТЕРС з відомою ЕРС допоміжного джерела струму (зазвичай нормального ртутно-кадмієвого елемента з ТЕРС, рівною 1,01836 В). Оскільки при вимірюванні ЕРС струм у ланцюзі відсутній, залежність опору ланцюга від температури не впливає на точність вимірювання.

## 2.5. Пірометри випромінювання

Пірометри випромінювання використовуються для вимірювання температур вище  $1600\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Принцип роботи цього типу приладів базується на властивостях тіла, нагрітого до високих значень температури, змінювати, зі зміною температури, інтенсивність монохроматичного і радіаційного випромінювання. Залежно від вимірюваного приладу випромінювання їх називають оптичними або радіаційними пірометрами.

### *Оптичний пірометр.*

Яскравість світіння розпеченого тіла пропорційна 15 – 20-му ступеню збільшення його температури. У пірометрі порівнюється яскравість нагрітого тіла з яскравістю світіння нитки електричної лампи розжарювання, яскравість якої змінюється за допомогою реостата (рис. 27).

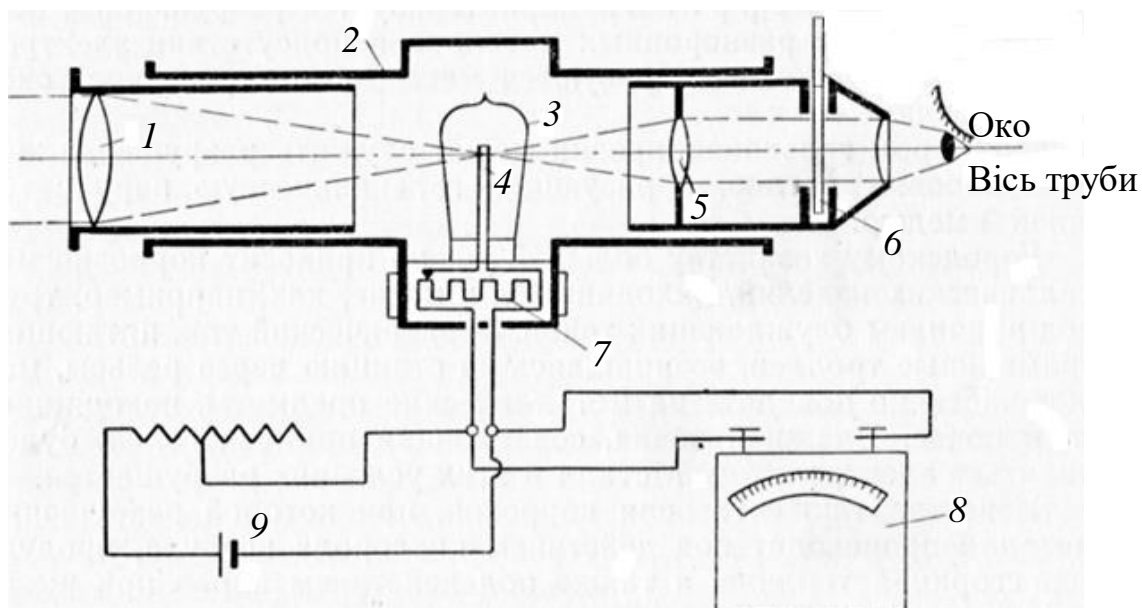


Рисунок 27 – Схема оптичного пірометра:

1 – об'єктив; 2 – корпус приладу; 3 – лампочка; 4 – нитка розжарення;  
5 – окуляр; 6 – світлофільтр; 7 – реостат; 8 – мілівольтметр;  
9 – батарея

При вимірюванні температури нитку лампи розжарювання 3 наводять на поверхню нагрітого тіла. Змінюючи реостатом 8 силу струму, підганяють яскравість світіння нитки до яскравості світіння поверхні нагрітого тіла. При цьому нитка лампи на тлі поверхні нагрітого тіла зникає. У цей момент знімають відлік температури за шкалою мілівольтметра 7, проградуйованого у градусах.

Нитка оптичної лампи виконана з вольфраму, тому для уникнення її сублімації при температурі вище  $1400^{\circ}\text{C}$ , для вимірювання більш високих температур перед лампою включається послабляючий або поглинаючий світлофільтр між об'єктивом 1 і лампою розжарювання 3. Світлофільтри зменшують видиму яскравість у кратне число раз, що дозволяє не перегартовувати нитку і зберігати стабільність градування пірометра.

В оптичних пірометрах зазвичай є дві шкали: однією з них користуються при невведеному поглинаючому світлофільтрі ( $800 - 1200^{\circ}\text{C}$ ), а другою – при введеному поглинаючому світлофільтрі ( $1200 - 2000^{\circ}\text{C}$ ).

Існуючі оптичні пірометри мають інтервал вимірювання  $800 - 6000^{\circ}\text{C}$ , класи точності від 1,5 до 4,0.

Оптичні пірометри використовуються для вимірювання температури до  $350 - 550^{\circ}\text{C}$ .

Пірометри стандартного виконання зазвичай виконані у вигляді, наведеному на рис. 28. На ньому присутній маленький рідкокристалічний індикатор, на якому виводиться інформація. Точність вимірювань залежить від типу датчиків та дотримання процедури вимірювання. Більшість приладів дозволяє налаштувати оптичні параметри поверхні, що вимірюється, – це дозволяє отримувати більш якісні результати.

Зручний корпус і панель управління, лазерне наведення і підвищена точність зробили популярним цей інструмент серед інженерно-технічних працівників. Дисплей приладу може бути цифровим або аналоговим. Для забезпечення необхідної точності вимірювання діаметр поверхні випромінювання має бути не менше 15 мм

Інноваційні моделі пірометрів оснащені ШВ виходом для передавання інформації на зовнішній носій або комп'ютер.

Робота пірометра полягає в ідентифікації теплових хвиль, що випромінюються від нагріваної поверхні. Схема приладу зображена на рис. 28.

Теплове випромінювання надходить на датчик пірометра через розтруб. У датчику енергія тепла перетворюється в сигнал електричного струму. Потужність цього отриманого сигналу залежить від температури досліджуваного об'єкта: чим більше температура, тим більша величина струму виникає в датчику.

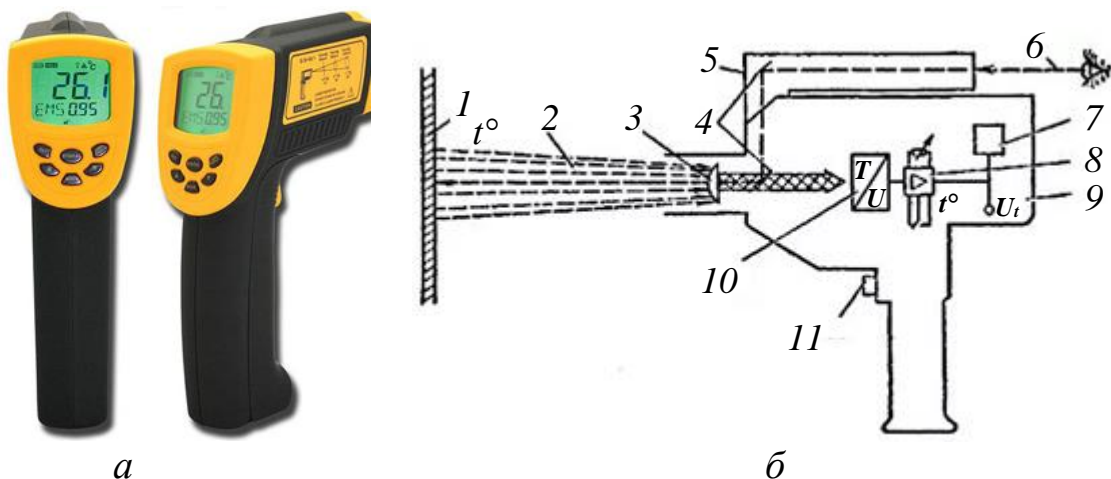


Рисунок 28 – Оптичний пірометр:

- 1 – вимірюваний об'єкт; 2 – теплове випромінювання; 3 – оптика;  
 4 – дзеркало; 5 – видошукач; 6 – ось видошукача;  
 7 – вимірювально-лічильний пристрій; 8 – електронний перетворювач;  
 9 – корпус; 10 – кнопка; 11 – датчик

Далі сигнал надходить на електронний перетворювач, який подає інформацію на рідкокристалічний екран. Однією з різновидів пірометрів є тепловізори, які працюють за принципом порівнювання спектра випромінювання тепла зі зразковим спектром.

На багатобарвному екрані з'являється проекція картинки від впливу теплового випромінювання об'єктів, що потрапили в зону дії приладу. За допомогою параметрів спектра визначають значення температури і наочно спостерігають її динамічну зміну на поверхні матеріалу. Тепловізори стали популярними для контролю функціональності опалення житлових будинків, а також виявлення місць витoku теплоносія, що знаходиться у прихованій області.

#### *Радіаційні пірометри.*

Принцип роботи радіаційного пірометра базується на вимірюванні температури поверхні з енергії випромінювання розпеченого тіла. Відповідно до закону Стефана–Больцмана повна потужність теплового випромінювання нагрітого тіла пропорційна четвертому ступеню температури. Тому точність вимірювання температури зазвичай нижче значення температури, визначеної за допомогою оптичного пірометра.

Радіаційні пірометри (рис. 29) різних конструкцій складаються з двох основних частин: телескопа і вимірювального приладу (який показує, або самописного).

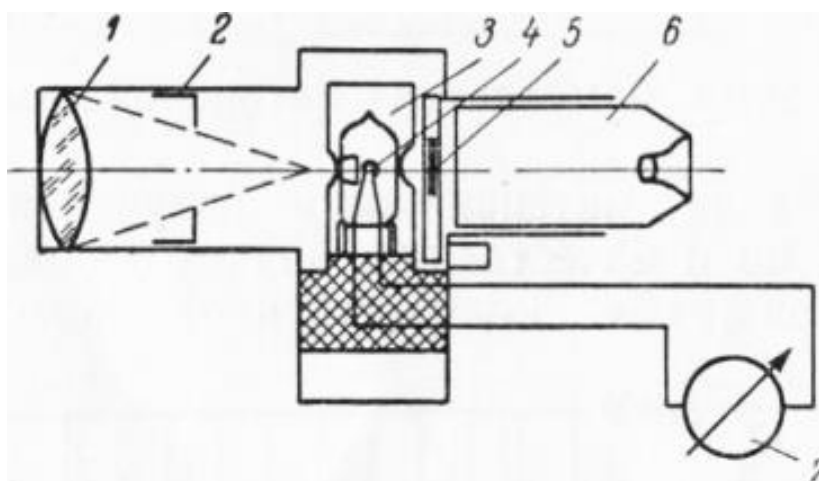


Рисунок 29 – Схема пристрою радіаційного пірометра:  
1 – об'єктив; 2 – діафрагма; 3 – екран; 4 – термобатарея;  
5 – червоний світлофільтр; 6 – окуляр; 7 – гальванометр

Оптична система телескопа концентрує енергію випромінювання нагрітого тіла на термоприймачі. Термоприймач, поміщений усередині телескопа, зазвичай являє собою мініатюрну термобатарею, ТЕРС якої слугує мірою температури нагрітого тіла.

У комплекті з радіаційним пірометром можуть застосовуватися різного типу самописні мілівольтметри, а також лабораторні та автоматичні потенціометри.

### 3. Хід виконання роботи

Лабораторна установка (рис. 30) складається з ємності для підігріву води 1, основного ртутного термометра 2, допоміжного термометра 3, датчика опору 4, врівноважувального моста 5 і нуля гальванометра 6.

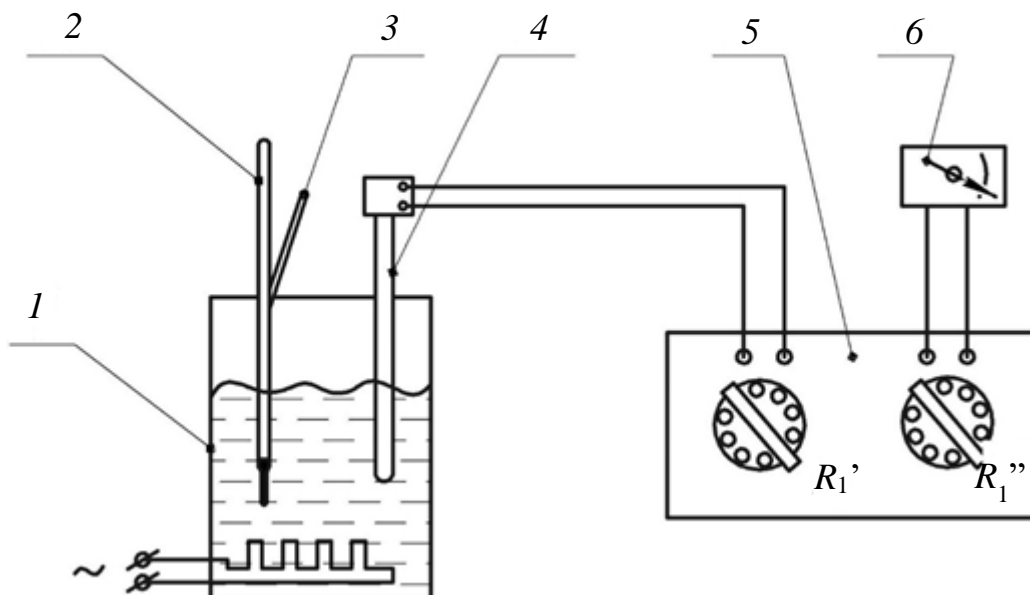


Рисунок 30 – Схема установки для вимірювання температури кипіння води:

1 – ємність з водою; 2 – рідинний термометр; 3 – допоміжний термометр; 4 – датчик термометра спротиву; 5 – врівноважувальний міст; 6 – нуль гальванометр

*Хід виконання роботи при вимірюванні температури кипіння води ртутним термометром:*

1. Термометр занурюють у киплячу воду, а потім, вийнявши з води і охолодивши до температури 50 °С, занурюють у термостат з льодом, що тане.

2. Витримують термометр у термостаті 10 – 15 хв, знімають 4 – 5 показань з інтервалом в 1 хв. Середнє значення вимірів беруть за фактичний стан нульової точки відліку ( $t_{0\text{факт}}$ ).

3. Поміщають термометр в ємність з водою і доводять температуру води до кипіння. Знімають 4 – 5 показань основного і додаткового термометрів з інтервалами в 1 – 2 хвилини. Дані вимірювань і обчислень заносять у протокол (табл. 6) і таблицю даних результатів експерименту (табл. 7).

### Протокол вимірювань

Дата \_\_\_\_\_ Температура оточуючого повітря \_\_\_\_\_

Показання барометра \_\_\_\_\_

Таблиця 6 – Протокол вимірювання температури кипіння води за допомогою рідинного термометра

Номер вимірювання	Показання основного термометра $t$ , °C	Показання додаткового термометра $t'$ , °C	Число поділок, що відповідає виступаючому стовпчику ртуті, °C
1			
2			
3			
4			
5			
Середнє значення			



Таблиця 7 – Дані з обробки результатів експерименту

Найменування величини	Позначення	Розмірність	Спосіб знаходження	Чисельне значення
Поправка на зміщення нуля	$\Delta t_3$	$^{\circ}\text{C}$	з експерименту	
Показання основного термометра	$t$	$^{\circ}\text{C}$	з експерименту	
Показання додаткового термометра	$t'$	$^{\circ}\text{C}$	з експерименту	
Число поділок, що відповідає виступаючому стовпчику ртуті	$n$		з експерименту	
Поправка на температуру виступаючого стовпчика ртуті	$\Delta t_B$	$^{\circ}\text{C}$	$\Delta t_B = n \cdot \alpha(t - t')$	
Температура кипіння води	$t_g$	$^{\circ}\text{C}$	$t_g = t + \Delta t_3 + \Delta t_B$	

*Хід виконання роботи при вимірюванні температури кипіння води термометром опору зі зрівноважувальним мостом:*

1. До затисків зрівноважувального моста під'єднують джерело живлення, гальванометр і датчик.
2. Датчик термометра опору поміщають в ємність з киплячою водою.
3. Встановлюють контакти  $A$  і  $B$  у гнізда зі значеннями опорів за табл. 8.

Таблиця 8 – Дані підбору величини опору

Вимірювальний опір, Ом	Положення штирів	
	Плече $A$	Плече $B$
$<10$	1	$10^3$
$10 \dots 150$	10	1000
$10^2 \dots 10^3$	100	1000
$10^3 \dots 10^4$	1000	1000
$10^4 \dots 10^5$	10000	1000

4. За допомогою декадних перемикачів на панелі врівноважувального моста встановлюють опір  $R_3$  (див. рис. 23), приблизно рівний  $R_t$  з урахуванням відношення  $R_1 / R_2 = A / B$ .

5. На короткий час, натиснувши кнопку «К» на панелі моста, поворотом декадних опорів підганяють опір  $R_3$  до значення, при якому показчик гальванометра залишається нерухомим (струм у діагоналі моста дорівнює 0).

6. Реєструємо значення опору  $R_3$  (4 – 5 вимірювань).

7. Визначаємо за залежністю (5) опір датчика термометра  $R_t'$ .

8. Визначаємо опір проводів при температурі навколишнього повітря за залежністю (6).

9. Вносимо поправку на опір проводів:  $R_t = R_t' - R_{пр}$ .

10. Користуючись таблицею (додаток), визначають температуру кипіння води. Дані вимірювань і обчислень заносимо в протокол вимірювань і табл. 9, 10 даних обробки результатів експерименту.

Протокол вимірювань

Дата \_\_\_\_\_ Температура оточуючого повітря \_\_\_\_\_

Показання барометра \_\_\_\_\_ Тип термометра опору \_\_\_\_\_

Таблиця 9 – Протокол вимірювання температури кипіння води за допомогою термометра опору

Номер вимірювання	Опір, Ом		
	$R_1$	$R_2$	$R_3$
1			
2			
3			
4			
5			
Середнє значення			

Таблиця 10 – Дані з обробки результатів експерименту

Найменування величини	Позначення	Розмірність	Спосіб знаходження	Чисельне значення
Відношення опору	$R_1/R_2$	-	З експерименту	
Змінний опір	$R_3$	Ом	З експерименту	
Опір з'єднувальних провідників при температурі навколишнього середовища (для міді)	$R_{пр}$	Ом	$R_{пр} = R_{0пр} \cdot (1 + 1,28 \cdot 10^{-3} \cdot t);$ $R_{пр} \approx 0,17 - 0,18$	
Опір датчика термометра	$R_t$	Ом	$R_t = \frac{R_1}{R_2} R_3 - R_{пр};$ $R_t = \frac{R_3}{R_0};$ $R_t = R_0(1 + \alpha \cdot t),$ де $\alpha = 4,28 \cdot 10^{-3} \text{ град}^{-1}$ – температурний коефіцієнт опору для міді	
Температура кипіння	$t$	°С	з таблиці	

11. Завершити оформлення роботи, зробити висновки щодо досягнення мети.

### Список літератури

1. Методические указания к практическим занятиям по курсу «Измерительные преобразователи»: расчет измерительных преобразователей давления для студентов специальностей 220301 «Автоматизация технологических процессов и производств» и 220200 «Автоматизация и управление» / сост.: А. Г. Кокуев. – Астрахань, 2010. – 23 с.

2. Колієнко А.Г. Навчальний посібник із дисципліни “Термодинаміка” для студентів інженерних спеціальностей “Теплогазопостачання і вентиляція”, “Обладнання нафтових і газових промислів”, “Видобування нафти і газу”, “Водопостачання та водовідведення”, “Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини та обладнання” / А.Г. Колієнко. – Полтава : ПолтНТУ, 2005. – 125 с.

3. Дяченко В.Г. Основи теплотехніки і теплові машини : навч. посібник / В.Г. Дяченко. – Харків: НТУ «ХПІ», 2002. – 135 с.

## Додаток

### Таблиці номінальної статичної характеристики

Таблиця Д.1 – Залежність відносного електричного опору  $R_t/R_0$  від температури для платини

$t, ^\circ\text{C}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	1,0000	1,0004	1,0008	1,0012	1,0016	1,0020	1,0024	1,0028	1,0032	1,0036
1	1,0040	1,0044	1,0047	1,0051	1,0055	1,0059	1,0063	1,0067	1,0071	1,0075
2	1,0079	1,0083	1,0087	1,0091	1,0095	1,0099	1,0103	1,0107	1,0110	1,0114
3	1,0118	1,0122	1,0126	1,0130	1,0134	1,0138	1,0142	1,0146	1,0150	1,0154
4	1,0158	1,0162	1,0166	1,0169	1,0173	1,0177	1,0181	1,0185	1,0189	1,0193
5	1,0197	1,0201	1,0205	1,0209	1,0213	1,0217	1,0221	1,0225	1,0228	1,0232
6	1,0236	1,0240	1,0244	1,0248	1,0252	1,0256	1,0260	1,0264	1,0268	1,0272
7	1,0276	1,0280	1,0284	1,0287	1,0291	1,0295	1,0299	1,0303	1,0307	1,0311
8	1,0315	1,0319	1,0323	1,0327	1,0331	1,0335	1,0339	1,0342	1,0346	1,0350
9	1,0354	1,0358	1,0362	1,0366	1,0370	1,0374	1,0378	1,0382	1,0386	1,0390
10	1,0394	1,0397	1,0401	1,0405	1,0409	1,0413	1,0417	1,0421	1,0425	1,0429
11	1,0433	1,0437	1,0441	1,0445	1,0449	1,0452	1,0456	1,0460	1,0464	1,0468
12	1,0472	1,0476	1,0480	1,0484	1,0488	1,0492	1,0496	1,0500	1,0503	1,0507
13	1,0511	1,0515	1,0519	1,0523	1,0527	1,0531	1,0535	1,0539	1,0543	1,0547
14	1,0551	1,0555	1,0558	1,0562	1,0566	1,0570	1,0574	1,0578	1,0582	1,0586
15	1,0590	1,0594	1,0598	1,0602	1,0605	1,0609	1,0613	1,0617	1,0621	1,0625
16	1,0629	1,0633	1,0637	1,0641	1,0645	1,0649	1,0653	1,0656	1,0660	1,0664
17	1,0668	1,0672	1,0676	1,0680	1,0684	1,0688	1,0692	1,0696	1,0700	1,0704
18	1,0707	1,0711	1,0715	1,0719	1,0723	1,0727	1,0731	1,0735	1,0739	1,0743
19	1,0747	1,0751	1,0754	1,0758	1,0762	1,0766	1,0770	1,0774	1,0778	1,0782
20	1,0786	1,0790	1,0794	1,0798	1,0801	1,0805	1,0809	1,0813	1,0817	1,0821
21	1,0825	1,0829	1,0833	1,0837	1,0841	1,0845	1,0848	1,0852	1,0856	1,0860
22	1,0864	1,0868	1,0872	1,0876	1,0880	1,0884	1,0888	1,0891	1,0895	1,0899
23	1,0903	1,0907	1,0911	1,0915	1,0919	1,0923	1,0927	1,0931	1,0935	1,0938
24	1,0942	1,0946	1,0950	1,0954	1,0958	1,0962	1,0966	1,0970	1,0974	1,0978
25	1,0981	1,0985	1,0989	1,0993	1,0997	1,1001	1,1005	1,1009	1,1013	1,1017
26	1,1021	1,1024	1,1028	1,1032	1,1036	1,1040	1,1044	1,1048	1,1052	1,1056
27	1,1060	1,1064	1,1067	1,1071	1,1075	1,1079	1,1083	1,1087	1,1091	1,1095
28	1,1099	1,1103	1,1107	1,1110	1,1114	1,1118	1,1122	1,1126	1,1130	1,1134
29	1,1138	1,1142	1,1146	1,1150	1,1153	1,1157	1,1161	1,1165	1,1169	1,1173
30	1,1177	1,1181	1,1185	1,1189	1,1192	1,1196	1,1200	1,1204	1,1208	1,1212
31	1,1216	1,1220	1,1224	1,1228	1,1232	1,1235	1,1239	1,1243	1,1247	1,1251
32	1,1255	1,1259	1,1263	1,1267	1,1271	1,1274	1,1278	1,1282	1,1286	1,1290
33	1,1294	1,1298	1,1302	1,1306	1,1310	1,1313	1,1317	1,1321	1,1325	1,1329
34	1,1333	1,1337	1,1341	1,1345	1,1349	1,1352	1,1356	1,1360	1,1364	1,1368
35	1,1372	1,1376	1,1380	1,1384	1,1388	1,1391	1,1395	1,1399	1,1403	1,1407
36	1,1411	1,1415	1,1419	1,1423	1,1427	1,1430	1,1434	1,1438	1,1442	1,1446
37	1,1450	1,1454	1,1458	1,1462	1,1466	1,1469	1,1473	1,1477	1,1481	1,1485
38	1,1489	1,1493	1,1497	1,1501	1,1505	1,1508	1,1512	1,1516	1,1520	1,1524
39	1,1528	1,1532	1,1536	1,1540	1,1543	1,1547	1,1551	1,1555	1,1559	1,1563
40	1,1567	1,1571	1,1575	1,1579	1,1582	1,1586	1,1590	1,1594	1,1598	1,1602
41	1,1606	1,1610	1,1614	1,1617	1,1621	1,1625	1,1629	1,1633	1,1637	1,1641
42	1,1645	1,1649	1,1652	1,1656	1,1660	1,1664	1,1668	1,1672	1,1676	1,1680
43	1,1684	1,1687	1,1691	1,1695	1,1699	1,1703	1,1707	1,1711	1,1715	1,1719
44	1,1722	1,1726	1,1730	1,1734	1,1738	1,1742	1,1746	1,1750	1,1754	1,1757
45	1,1761	1,1765	1,1769	1,1773	1,1777	1,1781	1,1785	1,1789	1,1792	1,1796
46	1,1800	1,1804	1,1808	1,1812	1,1816	1,1820	1,1824	1,1827	1,1831	1,1835
47	1,1839	1,1843	1,1847	1,1851	1,1855	1,1859	1,1862	1,1866	1,1870	1,1874

Продовження табл. Д.1

$t, ^\circ\text{C}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
48	1,1878	1,1882	1,1886	1,1890	1,1894	1,1897	1,1901	1,1905	1,1909	1,1913
49	1,1917	1,1921	1,1925	1,1928	1,1932	1,1936	1,1940	1,1944	1,1948	1,1952
50	1,1956	1,1960	1,1963	1,1967	1,1971	1,1975	1,1979	1,1983	1,1987	1,1991
51	1,1994	1,1998	1,2002	1,2006	1,2010	1,2014	1,2018	1,2022	1,2026	1,2029
52	1,2033	1,2037	1,2041	1,2045	1,2049	1,2053	1,2057	1,2060	1,2064	1,2068
53	1,2072	1,2076	1,2080	1,2084	1,2088	1,2091	1,2095	1,2099	1,2103	1,2107
54	1,2111	1,2115	1,2119	1,2122	1,2126	1,2130	1,2134	1,2138	1,2142	1,2146
55	1,2150	1,2153	1,2157	1,2161	1,2165	1,2169	1,2173	1,2177	1,2181	1,2185
56	1,2188	1,2192	1,2196	1,2200	1,2204	1,2208	1,2212	1,2216	1,2219	1,2223
57	1,2227	1,2231	1,2235	1,2239	1,2243	1,2246	1,2250	1,2254	1,2258	1,2262
58	1,2266	1,2270	1,2274	1,2277	1,2281	1,2285	1,2289	1,2293	1,2297	1,2301
59	1,2305	1,2308	1,2312	1,2316	1,2320	1,2324	1,2328	1,2332	1,2336	1,2339
60	1,2343	1,2347	1,2351	1,2355	1,2359	1,2363	1,2367	1,2370	1,2374	1,2378
61	1,2382	1,2386	1,2390	1,2394	1,2397	1,2401	1,2405	1,2409	1,2413	1,2417
62	1,2421	1,2425	1,2428	1,2432	1,2436	1,2440	1,2444	1,2448	1,2452	1,2456
63	1,2459	1,2463	1,2467	1,2471	1,2475	1,2479	1,2483	1,2486	1,2490	1,2494
64	1,2498	1,2502	1,2506	1,2510	1,2514	1,2517	1,2521	1,2525	1,2529	1,2533
65	1,2537	1,2541	1,2544	1,2548	1,2552	1,2556	1,2560	1,2564	1,2568	1,2571
66	1,2575	1,2579	1,2583	1,2587	1,2591	1,2595	1,2599	1,2602	1,2606	1,2610
67	1,2614	1,2618	1,2622	1,2626	1,2629	1,2633	1,2637	1,2641	1,2645	1,2649
68	1,2653	1,2656	1,2660	1,2664	1,2668	1,2672	1,2676	1,2680	1,2684	1,2687
69	1,2691	1,2695	1,2699	1,2703	1,2707	1,2711	1,2714	1,2718	1,2722	1,2726
70	1,2730	1,2734	1,2738	1,2741	1,2745	1,2749	1,2753	1,2757	1,2761	1,2765
71	1,2768	1,2772	1,2776	1,2780	1,2784	1,2788	1,2792	1,2795	1,2799	1,2803
72	1,2807	1,2811	1,2815	1,2819	1,2822	1,2826	1,2830	1,2834	1,2838	1,2842
73	1,2846	1,2849	1,2853	1,2857	1,2861	1,2865	1,2869	1,2873	1,2876	1,2880
74	1,2884	1,2888	1,2892	1,2896	1,2900	1,2903	1,2907	1,2911	1,2915	1,2919
75	1,2923	1,2927	1,2930	1,2934	1,2938	1,2942	1,2946	1,2950	1,2954	1,2957
76	1,2961	1,2965	1,2969	1,2973	1,2977	1,2980	1,2984	1,2988	1,2992	1,2996
77	1,3000	1,3004	1,3007	1,3011	1,3015	1,3019	1,3023	1,3027	1,3031	1,3034
78	1,3038	1,3042	1,3046	1,3050	1,3054	1,3057	1,3061	1,3065	1,3069	1,3073
79	1,3077	1,3081	1,3084	1,3088	1,3092	1,3096	1,3100	1,3104	1,3108	1,3111
80	1,3115	1,3119	1,3123	1,3127	1,3131	1,3134	1,3138	1,3142	1,3146	1,3150
81	1,3154	1,3158	1,3161	1,3165	1,3169	1,3173	1,3177	1,3181	1,3184	1,3188
82	1,3192	1,3196	1,3200	1,3204	1,3208	1,3211	1,3215	1,3219	1,3223	1,3227
83	1,3231	1,3234	1,3238	1,3242	1,3246	1,3250	1,3254	1,3258	1,3261	1,3265
84	1,3269	1,3273	1,3277	1,3281	1,3284	1,3288	1,3292	1,3296	1,3300	1,3304
85	1,3307	1,3311	1,3315	1,3319	1,3323	1,3327	1,3331	1,3334	1,3338	1,3342
86	1,3346	1,3350	1,3354	1,3357	1,3361	1,3365	1,3369	1,3373	1,3377	1,3380
87	1,3384	1,3388	1,3392	1,3396	1,3400	1,3404	1,3407	1,3411	1,3415	1,3419
88	1,3423	1,3427	1,3430	1,3434	1,3438	1,3442	1,3446	1,3450	1,3453	1,3457
89	1,3461	1,3465	1,3469	1,3473	1,3476	1,3480	1,3484	1,3488	1,3492	1,3496
90	1,3499	1,3503	1,3507	1,3511	1,3515	1,3519	1,3522	1,3526	1,3530	1,3534
91	1,3538	1,3542	1,3546	1,3549	1,3553	1,3557	1,3561	1,3565	1,3569	1,3572
92	1,3576	1,3580	1,3584	1,3588	1,3592	1,3595	1,3599	1,3603	1,3607	1,3611
93	1,3615	1,3618	1,3622	1,3626	1,3630	1,3634	1,3638	1,3641	1,3645	1,3649
94	1,3653	1,3657	1,3661	1,3664	1,3668	1,3672	1,3676	1,3680	1,3684	1,3687
95	1,3691	1,3695	1,3699	1,3703	1,3707	1,3710	1,3714	1,3718	1,3722	1,3726
96	1,3729	1,3733	1,3737	1,3741	1,3745	1,3749	1,3752	1,3756	1,3760	1,3764
97	1,3768	1,3772	1,3775	1,3779	1,3783	1,3787	1,3791	1,3795	1,3798	1,3802
98	1,3806	1,3810	1,3814	1,3818	1,3821	1,3825	1,3829	1,3833	1,3837	1,3841
99	1,3844	1,3848	1,3852	1,3856	1,3860	1,3863	1,3867	1,3871	1,3875	1,3879

## Закінчення табл. Д.1

$t, ^\circ\text{C}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
100	1,3883	1,3886	1,3890	1,3894	1,3898	1,3902	1,3906	1,3909	1,3913	1,3917
101	1,3921	1,3925	1,3928	1,3932	1,3936	1,3940	1,3944	1,3948	1,3951	1,3955
102	1,3959	1,3963	1,3967	1,3971	1,3974	1,3978	1,3982	1,3986	1,3990	1,3993
103	1,3997	1,4001	1,4005	1,4009	1,4013	1,4016	1,4020	1,4024	1,4028	1,4032
104	1,4036	1,4039	1,4043	1,4047	1,4051	1,4055	1,4058	1,4062	1,4066	1,4070
105	1,4074	1,4078	1,4081	1,4085	1,4089	1,4093	1,4097	1,4100	1,4104	1,4108
106	1,4112	1,4116	1,4120	1,4123	1,4127	1,4131	1,4135	1,4139	1,4142	1,4146
107	1,4150	1,4154	1,4158	1,4162	1,4165	1,4169	1,4173	1,4177	1,4181	1,4184
108	1,4188	1,4192	1,4196	1,4200	1,4204	1,4207	1,4211	1,4215	1,4219	1,4223
109	1,4226	1,4230	1,4234	1,4238	1,4242	1,4245	1,4249	1,4253	1,4257	1,4261
110	1,4265	1,4268	1,4272	1,4276	1,4280	1,4284	1,4287	1,4291	1,4295	1,4299
111	1,4303	1,4307	1,4310	1,4314	1,4318	1,4322	1,4326	1,4329	1,4333	1,4337
112	1,4341	1,4345	1,4348	1,4352	1,4356	1,4360	1,4364	1,4367	1,4371	1,4375
113	1,4379	1,4383	1,4387	1,4390	1,4394	1,4398	1,4402	1,4406	1,4409	1,4413
114	1,4417	1,4421	1,4425	1,4428	1,4432	1,4436	1,4440	1,4444	1,4448	1,4451
115	1,4455	1,4459	1,4463	1,4467	1,4470	1,4474	1,4478	1,4482	1,4486	1,4489
116	1,4493	1,4497	1,4501	1,4505	1,4508	1,4512	1,4516	1,4520	1,4524	1,4527
117	1,4531	1,4535	1,4539	1,4543	1,4546	1,4550	1,4554	1,4558	1,4562	1,4566
118	1,4569	1,4573	1,4577	1,4581	1,4585	1,4588	1,4592	1,4596	1,4600	1,4604
119	1,4607	1,4611	1,4615	1,4619	1,4623	1,4626	1,4630	1,4634	1,4638	1,4642
120	1,4645									

Таблиця Д.2 – Номінальна статична характеристика для платинових термометрів опору і чутливих елементів  $R_0 = 100 \text{ Ом}$ ,  $\alpha = 0,00385 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

$t, ^\circ\text{C}$	Опір ТС при температурі $t$ , Ом									
	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9
-200	18,52									
-190	22,83	22,40	21,97	21,54	21,11	20,68	20,25	19,82	19,38	18,95
-180	27,10	26,67	26,24	25,82	25,39	24,97	24,54	24,11	23,68	23,25
-170	31,34	30,91	30,49	30,07	29,64	29,22	28,80	28,37	27,95	27,52
-160	35,54	35,12	34,70	34,28	33,86	33,44	33,02	32,60	32,18	31,76
-150	39,72	39,31	38,89	38,47	38,05	37,64	37,22	36,80	36,38	35,96
-140	43,88	43,46	43,05	42,63	42,22	41,80	41,39	40,97	40,56	40,14
-130	48,00	47,59	47,18	46,77	46,36	45,94	45,53	45,12	44,70	44,29
-120	52,11	51,70	51,29	50,88	50,47	50,06	49,65	49,24	48,83	48,42
-110	56,19	55,79	55,38	54,97	54,56	54,15	53,75	53,34	52,93	52,52
-100	60,26	59,85	59,44	59,04	58,63	58,23	57,82	57,41	57,01	56,60
-90	64,30	63,90	63,49	63,09	62,68	62,28	61,88	61,47	61,07	60,66
-80	68,33	67,92	67,52	67,12	66,72	66,31	65,91	65,51	65,11	64,70
-70	72,33	71,93	71,53	71,13	70,73	70,33	69,93	69,53	69,13	68,73
-60	76,33	75,93	75,53	75,13	74,73	74,33	73,93	73,53	73,13	72,73
-50	80,31	79,91	79,51	79,11	78,72	78,32	77,92	77,52	77,12	76,73
-40	84,27	83,87	83,48	83,08	82,69	82,29	81,89	81,50	81,10	80,70
-30	88,22	87,83	87,43	87,04	86,64	86,25	85,85	85,46	85,06	84,67
-20	92,16	91,77	91,37	90,98	90,59	90,19	89,80	89,40	89,01	88,62
-10	96,09	95,69	95,30	94,91	94,52	94,12	93,73	93,34	92,95	92,55
0	100,00	99,61	99,22	98,83	98,44	98,04	97,65	97,26	96,87	96,48
$t, ^\circ\text{C}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	100,00	100,39	100,78	101,17	101,56	101,95	102,34	102,73	103,12	103,51
10	103,90	104,29	104,68	105,07	105,46	105,85	106,24	106,63	107,02	107,40
20	107,79	108,18	108,57	108,96	109,35	109,73	110,12	110,51	110,90	111,29
30	111,67	112,06	112,45	112,83	113,22	113,61	114,00	114,38	114,77	115,15
40	115,54	115,93	116,31	116,70	117,08	117,47	117,86	118,24	118,63	119,01
50	119,40	119,78	120,17	120,55	120,94	121,32	121,71	122,09	122,47	122,86
60	123,24	123,63	124,01	124,39	124,78	125,16	125,54	125,93	126,31	126,69
70	127,08	127,46	127,84	128,22	128,61	128,99	129,37	129,75	130,13	130,52
80	130,90	131,28	131,66	132,04	132,42	132,80	133,18	133,57	133,95	134,33
90	134,71	135,09	135,47	135,85	136,23	136,61	136,99	137,37	137,75	138,13
100	138,51	138,88	139,26	139,64	140,02	140,40	140,78	141,16	141,54	141,91
110	142,29	142,67	143,05	143,43	143,80	144,18	144,56	144,94	145,31	145,69
120	146,07	146,44	146,82	147,20	147,57	147,95	148,33	148,70	149,08	149,46
130	149,83	150,21	150,58	150,96	151,33	151,71	152,08	152,46	152,83	153,21
140	153,58	153,96	154,33	154,71	155,08	155,46	155,83	156,20	156,58	156,95
150	157,33	157,70	158,07	158,45	158,82	159,19	159,56	159,94	160,31	160,68
160	161,05	161,43	161,80	162,17	162,54	162,91	163,29	163,66	164,03	164,40
170	164,77	165,14	165,51	165,89	166,26	166,63	167,00	167,37	167,74	168,11
180	168,48	168,85	169,22	169,59	169,96	170,33	170,70	171,07	171,43	171,80
190	172,17	172,54	172,91	173,28	173,65	174,02	174,38	174,75	175,12	175,49
200	175,86	176,22	176,59	176,96	177,33	177,69	178,06	178,43	178,79	179,16
210	179,53	179,89	180,26	180,63	180,99	181,36	181,72	182,09	182,46	182,82
220	183,19	183,55	183,92	184,28	184,65	185,01	185,38	185,74	186,11	186,47
230	186,84	187,20	187,56	187,93	188,29	188,66	189,02	189,38	189,75	190,11
240	190,47	190,84	191,20	191,56	191,92	192,29	192,65	193,01	193,37	193,74
250	194,10	194,46	194,82	195,18	195,55	195,91	196,27	196,63	196,99	197,35
260	197,71	198,07	198,43	198,79	199,15	199,51	199,87	200,23	200,59	200,95
270	201,31	201,67	202,03	202,39	202,75	203,11	203,47	203,83	204,19	204,55
280	204,90	205,26	205,62	205,98	206,34	206,70	207,05	207,41	207,77	208,13
290	208,48	208,84	209,20	209,56	209,91	210,27	210,63	210,98	211,34	211,70
300	212,05	212,41	212,76	213,12	213,48	213,83	214,19	214,54	214,90	215,25
310	215,61	215,96	216,32	216,67	217,03	217,38	217,74	218,09	218,44	218,80



## Закінчення табл. Д.2

$t, ^\circ\text{C}$	Опір ТС при температурі $t$ , Ом									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
320	219,15	219,51	219,86	220,21	220,57	220,92	221,27	221,63	221,98	222,33
330	222,68	223,04	223,39	223,74	224,09	224,45	224,80	225,15	225,50	225,85
340	226,21	226,56	226,91	227,26	227,61	227,96	228,31	228,66	229,02	229,37
350	229,72	230,07	230,42	230,77	231,12	231,47	231,82	232,17	232,52	232,87
360	233,21	233,56	233,91	234,26	234,61	234,96	235,31	235,66	236,00	236,35
370	236,70	237,05	237,40	237,74	238,09	238,44	238,79	239,13	239,48	239,83
380	240,18	240,52	240,87	241,22	241,56	241,91	242,26	242,60	242,95	243,29
390	243,64	243,99	244,33	244,68	245,02	245,37	245,71	246,06	246,40	246,75
400	247,09	247,44	247,78	248,13	248,47	248,81	249,16	249,50	249,85	250,19
410	250,53	250,88	251,22	251,56	251,91	252,25	252,59	252,93	253,28	253,62
420	253,96	254,30	254,65	254,99	255,33	255,67	256,01	256,35	256,70	257,04
430	257,38	257,72	258,06	258,40	258,74	259,08	259,42	259,76	260,10	260,44
440	260,78	261,12	261,46	261,80	262,14	262,48	262,82	263,16	263,50	263,84
450	264,18	264,52	264,86	265,20	265,53	265,87	266,21	266,55	266,89	267,22
460	267,56	267,90	268,24	268,57	268,91	269,25	269,59	269,92	270,26	270,60
470	270,93	271,27	271,61	271,94	272,28	272,61	272,95	273,29	273,62	273,96
480	274,29	274,63	274,96	275,30	275,63	275,97	276,30	276,64	276,97	277,31
490	277,64	277,98	278,31	278,64	278,98	279,31	279,64	279,98	280,31	280,64
500	280,98	281,31	281,64	281,98	282,31	282,64	282,97	283,31	283,64	283,97
510	284,30	284,63	284,97	285,30	285,63	285,96	286,29	286,62	286,95	287,29
520	287,62	287,95	288,28	288,61	288,94	289,27	289,60	289,93	290,26	290,59
530	290,92	291,25	291,58	291,91	292,24	292,56	292,89	293,22	293,55	293,88
540	294,21	294,54	294,86	295,19	295,52	295,85	296,18	296,50	296,83	297,16
550	297,49	297,81	298,14	298,47	298,80	299,12	299,45	299,78	300,10	300,43
560	300,75	301,08	301,41	301,73	302,06	302,38	302,71	303,03	303,36	303,69
570	304,01	304,34	304,66	304,98	305,31	305,63	305,96	306,28	306,61	306,93
580	307,25	307,58	307,90	308,23	308,55	308,87	309,20	309,52	309,84	310,16
590	310,49	310,81	311,13	311,45	311,78	312,10	312,42	312,74	313,06	313,39
600	313,71	314,03	314,35	314,67	314,99	315,31	315,64	315,96	316,28	316,60
610	316,92	317,24	317,56	317,88	318,20	318,52	318,84	319,16	319,48	319,80
620	320,12	320,43	320,75	321,07	321,39	321,71	322,03	322,35	322,67	322,98
630	323,30	323,62	323,94	324,26	324,57	324,89	325,21	325,53	325,84	326,16
640	326,48	326,79	327,11	327,43	327,74	328,06	328,38	328,69	329,01	329,32
650	329,64	329,96	330,27	330,59	330,90	331,22	331,53	331,85	332,16	332,48
660	332,79	333,11	333,42	333,74	334,05	334,36	334,68	334,99	335,31	335,62
670	335,93	336,25	336,56	336,87	337,18	337,50	337,81	338,12	338,44	338,75
680	339,06	339,37	339,69	340,00	340,31	340,62	340,93	341,24	341,56	341,87
690	342,18	342,49	342,80	343,11	343,42	343,73	344,04	344,35	344,66	344,97
700	345,28	345,59	345,90	346,21	346,52	346,83	347,14	347,45	347,76	348,07
710	348,38	348,69	348,99	349,30	349,61	349,92	350,23	350,54	350,84	351,15
720	351,46	351,77	352,08	352,38	352,69	353,00	353,30	353,61	353,92	354,22
730	354,53	354,84	355,14	355,45	355,76	356,06	356,37	356,67	356,98	357,28
740	357,59	357,90	358,20	358,51	358,81	359,12	359,42	359,72	360,03	360,33
750	360,64	360,94	361,25	361,55	361,85	362,16	362,46	362,76	363,07	363,37
760	363,67	363,98	364,28	364,58	364,89	365,19	365,49	365,79	366,10	366,40
770	366,70	367,00	367,30	367,60	367,91	368,21	368,51	368,81	369,11	369,41
780	369,71	370,01	370,31	370,61	370,91	371,21	371,51	371,81	372,11	372,41
790	372,71	373,01	373,31	373,61	373,91	374,21	374,51	374,81	375,11	375,41
800	375,70	376,00	376,30	376,60	376,90	377,19	377,49	377,79	378,09	378,39
810	378,68	378,98	379,28	379,57	379,87	380,17	380,46	380,76	381,06	381,35
820	381,65	381,95	382,24	382,54	382,83	383,13	383,42	383,72	384,01	384,31
830	384,60	384,90	385,19	385,49	385,78	386,08	386,37	386,67	386,96	387,25
840	387,55	387,84	388,14	388,43	388,72	389,02	389,31	389,60	389,90	390,19
850	390,48									

Таблиця Д.3 – Номінальна статична характеристика для платинових термометрів опору і чутливих елементів  $R_0 = 100 \text{ Ом}$ ,  $\alpha = 0,00391 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

$t, ^\circ\text{C}$	Опір ТС при температурі $t$ , Ом									
	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9
-200	17,24									
-190	21,62	21,18	20,75	20,31	19,87	19,44	19,00	18,56	18,12	17,68
-180	25,96	25,53	25,09	24,66	24,23	23,79	23,36	22,92	22,49	22,05
-170	30,26	29,84	29,41	28,98	28,55	28,12	27,68	27,25	26,82	26,39
-160	34,54	34,11	33,69	33,26	32,83	32,41	31,98	31,55	31,12	30,69
-150	38,79	38,36	37,94	37,51	37,09	36,67	36,24	35,82	35,39	34,97
-140	43,00	42,58	42,16	41,74	41,32	40,90	40,48	40,05	39,63	39,21
-130	47,20	46,78	46,36	45,94	45,52	45,10	44,68	44,26	43,84	43,42
-120	51,37	50,95	50,53	50,12	49,70	49,28	48,87	48,45	48,03	47,62
-110	55,51	55,10	54,69	54,27	53,86	53,44	53,03	52,61	52,20	51,78
-100	59,64	59,23	58,82	58,40	57,99	57,58	57,17	56,75	56,34	55,93
-90	63,75	63,34	62,93	62,52	62,11	61,69	61,28	60,87	60,46	60,05
-80	67,83	67,43	67,02	66,61	66,20	65,79	65,38	64,97	64,56	64,16
-70	71,91	71,50	71,09	70,69	70,28	69,87	69,46	69,06	68,65	68,24
-60	75,96	75,56	75,15	74,75	74,34	73,94	73,53	73,12	72,72	72,31
-50	80,00	79,60	79,19	78,79	78,39	77,98	77,58	77,17	76,77	76,37
-40	84,03	83,62	83,22	82,82	82,42	82,02	81,61	81,21	80,81	80,40
-30	88,04	87,64	87,24	86,84	86,44	86,03	85,63	85,23	84,83	84,43
-20	92,04	91,64	91,24	90,84	90,44	90,04	89,64	89,24	88,84	88,44
-10	96,03	95,63	95,23	94,83	94,43	94,03	93,63	93,24	92,84	92,44
0	100,00	99,60	99,21	98,81	98,41	98,01	97,62	97,22	96,82	96,42
$t, ^\circ\text{C}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	100,00	100,40	100,79	101,19	101,59	101,98	102,38	102,78	103,17	103,57
10	103,96	104,36	104,75	105,15	105,55	105,94	106,34	106,73	107,13	107,52
20	107,91	108,31	108,70	109,10	109,49	109,89	110,28	110,67	111,07	111,46
30	111,85	112,25	112,64	113,03	113,43	113,82	114,21	114,61	115,00	115,39
40	115,78	116,17	116,57	116,96	117,35	117,74	118,13	118,53	118,92	119,31
50	119,70	120,09	120,48	120,87	121,26	121,65	122,04	122,43	122,82	123,21
60	123,60	123,99	124,38	124,77	125,16	125,55	125,94	126,33	126,72	127,11
70	127,50	127,89	128,27	128,66	129,05	129,44	129,83	130,21	130,60	130,99
80	131,38	131,77	132,15	132,54	132,93	133,31	133,70	134,09	134,47	134,86
90	135,25	135,63	136,02	136,41	136,79	137,18	137,56	137,95	138,34	138,72
100	139,11	139,49	139,88	140,26	140,65	141,03	141,42	141,80	142,18	142,57
110	142,95	143,34	143,72	144,10	144,49	144,87	145,25	145,64	146,02	146,40
120	146,79	147,17	147,55	147,94	148,32	148,70	149,08	149,46	149,85	150,23
130	150,61	150,99	151,37	151,75	152,14	152,52	152,90	153,28	153,66	154,04
140	154,42	154,80	155,18	155,56	155,94	156,32	156,70	157,08	157,46	157,84
150	158,22	158,60	158,98	159,36	159,74	160,12	160,49	160,87	161,25	161,63
160	162,01	162,39	162,76	163,14	163,52	163,90	164,28	164,65	165,03	165,41
170	165,78	166,16	166,54	166,92	167,29	167,67	168,05	168,42	168,80	169,17
180	169,55	169,93	170,30	170,68	171,05	171,43	171,80	172,18	172,55	172,93
190	173,30	173,68	174,05	174,43	174,80	175,17	175,55	175,92	176,30	176,67
200	177,04	177,42	177,79	178,16	178,54	178,91	179,28	179,66	180,03	180,40
210	180,77	181,15	181,52	181,89	182,26	182,63	183,01	183,38	183,75	184,12
220	184,49	184,86	185,23	185,60	185,97	186,35	186,72	187,09	187,46	187,83
230	188,20	188,57	188,94	189,31	189,68	190,05	190,42	190,78	191,15	191,52
240	191,89	192,26	192,63	193,00	193,37	193,73	194,10	194,47	194,84	195,21
250	195,57	195,94	196,31	196,68	197,04	197,41	197,78	198,15	198,51	198,88
260	199,25	199,61	199,98	200,34	200,71	201,08	201,44	201,81	202,17	202,54
270	202,90	203,27	203,64	204,00	204,37	204,73	205,09	205,46	205,82	206,19
280	206,55	206,92	207,28	207,64	208,01	208,37	208,74	209,10	209,46	209,83
290	210,19	210,55	210,91	211,28	211,64	212,00	212,36	212,73	213,09	213,45
300	213,81	214,17	214,54	214,90	215,26	215,62	215,98	216,34	216,70	217,07
310	217,43	217,79	218,15	218,51	218,87	219,23	219,59	219,95	220,31	220,67
320	221,03	221,39	221,75	222,10	222,46	222,82	223,18	223,54	223,90	224,26
330	224,62	224,97	225,33	225,69	226,05	226,41	226,76	227,12	227,48	227,84

## Закінчення табл. Д.3

$t, ^\circ\text{C}$	Опір ТС при температурі $t$ , Ом									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
340	228,19	228,55	228,91	229,26	229,62	229,98	230,33	230,69	231,05	231,40
350	231,76	232,12	232,47	232,83	233,18	233,54	233,89	234,25	234,60	234,96
360	235,31	235,67	236,02	236,38	236,73	237,09	237,44	237,80	238,15	238,50
370	238,86	239,21	239,56	239,92	240,27	240,62	240,98	241,33	241,68	242,04
380	242,39	242,74	243,09	243,44	243,80	244,15	244,50	244,85	245,20	245,56
390	245,91	246,26	246,61	246,96	247,31	247,66	248,01	248,36	248,71	249,06
400	249,41	249,76	250,11	250,46	250,81	251,16	251,51	251,86	252,21	252,56
410	252,91	253,26	253,61	253,96	254,31	254,65	255,00	255,35	255,70	256,05
420	256,39	256,74	257,09	257,44	257,78	258,13	258,48	258,83	259,17	259,52
430	259,87	260,21	260,56	260,91	261,25	261,60	261,94	262,29	262,64	262,98
440	263,33	263,67	264,02	264,36	264,71	265,05	265,40	265,74	266,09	266,43
450	266,78	267,12	267,47	267,81	268,15	268,50	268,84	269,18	269,53	269,87
460	270,21	270,56	270,90	271,24	271,59	271,93	272,27	272,61	272,96	273,30
470	273,64	273,98	274,32	274,67	275,01	275,35	275,69	276,03	276,37	276,71
480	277,05	277,40	277,74	278,08	278,42	278,76	279,10	279,44	279,78	280,12
490	280,46	280,80	281,14	281,48	281,81	282,15	282,49	282,83	283,17	283,51
500	283,85	284,19	284,52	284,86	285,20	285,54	285,88	286,21	286,55	286,89
510	287,23	287,56	287,90	288,24	288,57	288,91	289,25	289,58	289,92	290,26
520	290,59	290,93	291,27	291,60	291,94	292,27	292,61	292,94	293,28	293,61
530	293,95	294,28	294,62	294,95	295,29	295,62	295,96	296,29	296,63	296,96
540	297,29	297,63	297,96	298,29	298,63	298,96	299,29	299,63	299,96	300,29
550	300,63	300,96	301,29	301,62	301,96	302,29	302,62	302,95	303,28	303,62
560	303,95	304,28	304,61	304,94	305,27	305,60	305,93	306,26	306,59	306,93
570	307,26	307,59	307,92	308,25	308,58	308,91	309,24	309,56	309,89	310,22
580	310,55	310,88	311,21	311,54	311,87	312,20	312,53	312,85	313,18	313,51
590	313,84	314,17	314,49	314,82	315,15	315,48	315,80	316,13	316,46	316,79
600	317,11	317,44	317,77	318,09	318,42	318,74	319,07	319,40	319,72	320,05
610	320,37	320,70	321,03	321,35	321,68	322,00	322,33	322,65	322,98	323,30
620	323,63	323,95	324,27	324,60	324,92	325,25	325,57	325,89	326,22	326,54
630	326,86	327,19	327,51	327,83	328,16	328,48	328,80	329,12	329,45	329,77
640	330,09	330,41	330,74	331,06	331,38	331,70	332,02	332,34	332,66	332,99
650	333,31	333,63	333,95	334,27	334,59	334,91	335,23	335,55	335,87	336,19
660	336,51	336,83	337,15	337,47	337,79	338,11	338,43	338,75	339,07	339,38
670	339,70	340,02	340,34	340,66	340,98	341,29	341,61	341,93	342,25	342,57
680	342,88	343,20	343,52	343,84	344,15	344,47	344,79	345,10	345,42	345,74
690	346,05	346,37	346,68	347,00	347,32	347,63	347,95	348,26	348,58	348,89
700	349,21	349,52	349,84	350,15	350,47	350,78	351,10	351,41	351,73	352,04
710	352,35	352,67	352,98	353,30	353,61	353,92	354,24	354,55	354,86	355,18
720	355,49	355,80	356,11	356,43	356,74	357,05	357,36	357,67	357,99	358,30
730	358,61	358,92	359,23	359,54	359,86	360,17	360,48	360,79	361,10	361,41
740	361,72	362,03	362,34	362,65	362,96	363,27	363,58	363,89	364,20	364,51
750	364,82	365,13	365,44	365,75	366,06	366,36	366,67	366,98	367,29	367,60
760	367,91	368,21	368,52	368,83	369,14	369,45	369,75	370,06	370,37	370,67
770	370,98	371,29	371,60	371,90	372,21	372,51	372,82	373,13	373,43	373,74
780	374,05	374,35	374,66	374,96	375,27	375,57	375,88	376,18	376,49	376,79
790	377,10	377,40	377,71	378,01	378,31	378,62	378,92	379,23	379,53	379,83
800	380,14	380,44	380,74	381,05	381,35	381,65	381,96	382,26	382,56	382,86
810	383,17	383,47	383,77	384,07	384,37	384,68	384,98	385,28	385,58	385,88
820	386,18	386,48	386,79	387,09	387,39	387,69	387,99	388,29	388,59	388,89
830	389,19	389,49	389,79	390,09	390,39	390,69	390,99	391,29	391,58	391,88
840	392,18	392,48	392,78	393,08	393,38	393,67	393,97	394,27	394,57	394,87
850	395,16									

Таблиця Д.4 – Номінальна статична характеристика для мідних термометрів опору і чутливих елементів  $R_0 = 100 \text{ Ом}$ ,  $\alpha = 0,00428 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

$t, ^\circ\text{C}$	Опір ТС при температурі $t$ , Ом									
	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9
-180	20,53									
-170	25,10	24,64	24,19	23,73	23,27	22,82	22,36	21,90	21,44	20,99
-160	29,65	29,20	28,74	28,29	27,83	27,38	26,92	26,47	26,01	25,56
-150	34,18	33,73	33,27	32,82	32,37	31,92	31,46	31,01	30,56	30,10
-140	38,69	38,24	37,79	37,34	36,89	36,44	35,99	35,53	35,08	34,63
-130	43,18	42,73	42,28	41,83	41,38	40,94	40,49	40,04	39,59	39,14
-120	47,65	47,20	46,76	46,31	45,86	45,42	44,97	44,52	44,07	43,63
-110	52,10	51,66	51,21	50,77	50,32	49,88	49,43	48,99	48,54	48,10
-100	56,54	56,09	55,65	55,21	54,76	54,32	53,88	53,43	52,99	52,55
-90	60,95	60,51	60,07	59,63	59,19	58,75	58,30	57,86	57,42	56,98
-80	65,35	64,91	64,47	64,03	63,59	63,15	62,71	62,27	61,83	61,39
-70	69,74	69,30	68,86	68,42	67,98	67,55	67,11	66,67	66,23	65,79
-60	74,10	73,67	73,23	72,79	72,36	71,92	71,48	71,05	70,61	70,17
-50	78,46	78,02	77,59	77,15	76,72	76,28	75,85	75,41	74,97	74,54
-40	82,79	82,36	81,93	81,49	81,06	80,63	80,19	79,76	79,32	78,89
-30	87,11	86,68	86,25	85,82	85,39	84,95	84,52	84,09	83,66	83,22
-20	91,42	90,99	90,56	90,13	89,70	89,27	88,84	88,41	87,98	87,55
-10	95,72	95,29	94,86	94,43	94,00	93,57	93,14	92,71	92,28	91,85
0	100,00	99,57	99,14	98,72	98,29	97,86	97,43	97,00	96,58	96,15
$t, ^\circ\text{C}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	100,00	100,43	100,86	101,28	101,71	102,14	102,57	103,00	103,42	103,85
10	104,28	104,71	105,14	105,56	105,99	106,42	106,85	107,28	107,70	108,13
20	108,56	108,99	109,42	109,84	110,27	110,70	111,13	111,56	111,98	112,41
30	112,84	113,27	113,70	114,12	114,55	114,98	115,41	115,84	116,26	116,69
40	117,12	117,55	117,98	118,40	118,83	119,26	119,69	120,12	120,54	120,97
50	121,40	121,83	122,26	122,68	123,11	123,54	123,97	124,40	124,82	125,25
60	125,68	126,11	126,54	126,96	127,39	127,82	128,25	128,68	129,10	129,53
70	129,96	130,39	130,82	131,24	131,67	132,10	132,53	132,96	133,38	133,81
80	134,24	134,67	135,10	135,52	135,95	136,38	136,81	137,24	137,66	138,09
90	138,52	138,95	139,38	139,80	140,23	140,66	141,09	141,52	141,94	142,37
100	142,80	143,23	143,66	144,08	144,51	144,94	145,37	145,80	146,22	146,65
110	147,08	147,51	147,94	148,36	148,79	149,22	149,65	150,08	150,50	150,93
120	151,36	151,79	152,22	152,64	153,07	153,50	153,93	154,36	154,78	155,21
130	155,64	156,07	156,50	156,92	157,35	157,78	158,21	158,64	159,06	159,49
140	159,92	160,35	160,78	161,20	161,63	162,06	162,49	162,92	163,34	163,77
150	164,20	164,63	165,06	165,48	165,91	166,34	166,77	167,20	167,62	168,05
160	168,48	168,91	169,34	169,76	170,19	170,62	171,05	171,48	171,90	172,33
170	172,76	173,19	173,62	174,04	174,47	174,90	175,33	175,76	176,18	176,61
180	177,04	177,47	177,90	178,32	178,75	179,18	179,61	180,04	180,46	180,89
190	181,32	181,75	182,18	182,60	183,03	183,46	183,89	184,32	184,74	185,17
200	185,60									

Таблиця Д.5 – Номінальна статична характеристика для нікелевих термометрів опору і чутливих елементів  $R_0 = 100 \text{ Ом}$ ,  $\alpha = 0,00617 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

$t, ^\circ\text{C}$	Опір ТС при температурі $t$ , Ом									
	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9
-60	69,45	68,99	68,52	68,05	67,59	67,13	66,67	66,21	65,75	65,29
-50	74,21	73,73	73,25	72,77	72,29	71,81	71,34	70,87	70,39	69,92
-40	79,10	78,60	78,11	77,62	77,12	76,63	76,15	75,66	75,17	74,69
-30	84,12	83,61	83,10	82,60	82,09	81,59	81,09	80,59	80,09	79,59
-20	89,28	88,76	88,24	87,72	87,20	86,68	86,17	85,65	85,14	84,63
-10	94,57	94,04	93,50	92,97	92,44	91,91	91,38	90,85	90,33	89,80
0-	100,00	99,45	98,90	98,36	97,81	97,27	96,73	96,19	95,65	95,11
$t, ^\circ\text{C}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	100,00	100,55	101,10	101,65	102,21	102,77	103,32	103,88	104,44	105,00
10	105,56	106,13	106,69	107,26	107,83	108,40	108,97	109,54	110,11	110,69
20	111,26	111,84	112,42	113,00	113,58	114,16	114,75	115,33	115,92	116,51
30	117,10	117,69	118,28	118,87	119,47	120,06	120,66	121,26	121,86	122,46
40	123,07	123,67	124,28	124,88	125,49	126,10	126,71	127,32	127,94	128,55
50	129,17	129,79	130,41	131,03	131,65	132,27	132,90	133,52	134,15	134,78
60	135,41	136,04	136,67	137,31	137,94	138,58	139,22	139,86	140,50	141,14
70	141,78	142,43	143,08	143,72	144,37	145,02	145,67	146,33	146,98	147,64
80	148,29	148,95	149,61	150,27	150,94	151,60	152,26	152,93	153,60	154,27
90	154,94	155,61	156,28	156,96	157,63	158,31	158,99	159,67	160,35	161,03
100	161,72	162,41	163,11	163,81	164,51	165,21	165,91	166,62	167,33	168,03
110	168,74	169,46	170,17	170,89	171,60	172,32	173,05	173,77	174,49	175,22
120	175,95	176,68	177,41	178,15	178,88	179,62	180,36	181,10	181,84	182,59
130	183,34	184,08	184,84	185,59	186,34	187,10	187,86	188,62	189,38	190,14
140	190,91	191,68	192,45	193,22	193,99	194,77	195,55	196,33	197,11	197,89
150	198,68	199,47	200,26	201,05	201,84	202,64	203,44	204,24	205,04	205,84
160	206,65	207,46	208,27	209,08	209,89	210,71	211,53	212,35	213,17	214,00
170	214,82	215,65	216,48	217,31	218,15	218,99	219,83	220,67	221,51	222,36
180	223,21									

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	3
Лабораторна робота 1. Вимірювання тиску, перевірка пружинного манометра.....	4
Лабораторна робота 2. Вимірювання температури .....	23
Список літератури .....	42
Додаток.....	43

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до лабораторних робіт  
з дисципліни «Термодинаміка теплових двигунів»  
(Частина 1)

для студентів спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування»

Укладачі: ЛІНЬКОВ Олег Юрійович  
КРАВЧЕНКО Сергій Сергійович

Відповідальний за випуск проф. Пильов В.О.  
До видання роботу рекомендував проф. Шелковой О.М.

Редактор О.І. Шпільова

План 2019 р., поз. 166.

Формат 60x84 1/16.

Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 2,6.

---

Видавничий центр НТУ «ХП». 61002, Харків, вул. Кирпичова, 2.

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК №5478 від 21.08.2017 р.

---

Самостійне електронне видання

